



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS – DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
ARQUITETURA E URBANISMO



**O USO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS EM UMA EDIFICAÇÃO
VISANDO MELHORIAS NO DESEMPENHO TÉRMICO**

Amanda Vitor Lopes

Ouro Preto

2018

AMANDA VITOR LOPES

**O USO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS EM UMA EDIFICAÇÃO
VISANDO MELHORIAS NO DESEMPENHO TÉRMICO**

Trabalho Final de Graduação
apresentado ao Curso de Arquitetura e
Urbanismo da Universidade Federal de
Ouro Preto, como requisito parcial para
a obtenção do grau de Bacharel(a) em
Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Henor Artur de Souza

Coorientadores: Gustavo Brandão
Nogueira Soares e Lucas Fonseca
Caetano

OURO PRETO

2018

L864u Lopes, Amanda Vitor.
O uso de estratégias bioclimáticas em uma edificação visando melhorias no desempenho térmico [manuscrito] / Amanda Vitor Lopes. - 2019.

70f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Henor Artur de Souza.

Coorientador: MSc Gustavo Brandão Nogueira Soares.

Coorientador: MSc Lucas Fonseca Caetano.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Arquitetura e Urbanismo.

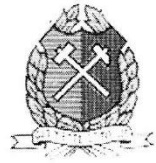
1. Arquitetura bioclimática. 2. Desempenho térmico. 3. Conforto térmico. I. Souza, Henor Artur de. II. Soares, Gustavo Brandão Nogueira. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 72

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Arquitetura e Urbanismo



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Em 11 de Dezembro de 2018, reuniu-se a banca examinadora do trabalho apresentado como Trabalho de Conclusão do Curso Arquitetura e Urbanismo da Escola de Minas da UFOP, intitulado: **O USO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS EM UMA EDIFICAÇÃO VISANDO MELHORIAS NO DESEMPENHO TÉRMICO**, do aluno(a) **AMANDA VITOR LOPES**.

Compuseram a banca os professores(as) **HENOR ARTUR DE SOUZA** (Orientador), **CLÉCIO MAGALHAES DO VALE** (Avaliador 1) e **CAMILA CARVALHO FERREIRA** (Avaliador 2). Após a exposição oral, o(a) candidato(a) foi argüido(a) pelos componentes da banca que reuniram-se reservadamente, e decidiram, aprovado, com a nota 9,0.


Orientador(a)


Avaliador(a) 1


Avaliador(a) 2

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Formulação do problema	12
1.2	Objetivo geral	13
1.2.1	Objetivos específicos	13
1.3	Justificativa	14
1.4	Estrutura do trabalho	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Estratégias bioclimáticas	16
2.1.1	Ventilação natural	17
2.1.2	Sombreamento	18
2.1.3	Massa térmica	20
2.1.4	A vegetação.....	21
2.1.5	A cor	23
2.2	Desempenho térmico de edificações.....	24
2.3	Requalificação de uma edificação	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	Localização e caracterização da edificação em estudo e do seu sistema de fechamento	29
3.2	Caracterização das condições climáticas do local.....	34
3.3	Parâmetros da simulação numérica	34
3.3.1	Etapas da simulação numérica.....	36
3.4	Proposição de estratégias passivas	38
3.4.1	Elementos de sombreamento: <i>Brisés</i>	38
3.4.1.1	Dimensionamento do <i>brise-soleil</i> com auxílio da carta solar.....	38
3.4.1.2	Proposição de material para o <i>brise-soleil</i>	41
3.4.2	Proposição da cobertura.....	41
3.4.3	Proposição de alteração da cor e da vegetação no entorno.....	42
3.5	Casos de propostas de estratégias avaliados	43
4	RESULTADOS	46
4.1	Casos analisados	46
4.2	Proposição final de intervenções	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICE A	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Tipos de ventilação	18
Figura 2.2	Exemplos de brises horizontais e verticais	20
Figura 2.3	Uso da energia solar e inércia térmica nas paredes internas e no piso de uma edificação	21
Figura 2.4	Microclima	21
Figura 2.5	Resfriamento evaporativo em áreas gramadas ou arborizadas ..	23
Figura 2.6	Zoneamento Bioclimático Brasileiro	26
Figura 3.1	Vistas da edificação	29
Figura 3.2	Localização da edificação	29
Figura 3.3	Esquema de parte do bairro situando a edificação em estudo	30
Figura 3.4	Situação da edificação com o entorno imediato	30
Figura 3.5	Planta de situação da edificação	31
Figura 3.6	Planta de implantação da edificação	32
Figura 3.7	Plantas baixas da edificação	32
Figura 3.8	Cortes e fachada frontal da edificação	33
Figura 3.9	Disposição das zonas térmicas	37
Figura 3.10	Perspectivas da volumetria gerada	37
Figura 3.11	Percurso do sol nos Solstícios e nos Equinócios	39
Figura 3.12	Carta solar para latitude 20°	39
Figura 3.13	Transferidor auxiliar com os ângulos α , β e γ	40
Figura 3.14	Brise proposto	40
Figura 3.15	Resultado final brise	40
Figura 3.16	Perspectivas da cobertura estruturada em aço	42
Figura 3.17	Espécies de vegetação propostas	43
Figura 3.18	Representação da edificação	44
Figura 3.19	Perspectivas da edificação com fechamento lateral em vidro	45
Figura 3.20	Perspectivas da edificação sem o fechamento lateral em vidro .	45
Figura 4.1	Evolução temporal da temperatura interna e externa do quarto 1 no dia típico de verão com 1 ren/h	48
Figura 4.2	Evolução temporal da temperatura interna e externa do quarto 2 no dia típico de verão, com 1 ren/h	48

Figura 4.3	Evolução temporal da temperatura interna e externa da sala no dia típico de verão, com 1 ren/h	49
Figura 4.4	Evolução temporal da temperatura interna e externa do quarto 1 no dia típico de inverno, com 1 ren/h.....	50
Figura 4.5	Evolução temporal da temperatura interna e externa do quarto 2 no dia típico de inverno, com 1 ren/h.....	50
Figura 4.6	Evolução temporal da temperatura interna e externa da sala no dia típico de inverno, com 1 ren/h.....	51
Figura 4.7	Evolução temporal da temperatura interna e externa do quarto 1 no dia típico de verão, com 5 ren/h.....	52
Figura 4.8	Evolução temporal da temperatura interna e externa do quarto 2 no dia típico de verão, com 5 ren/h.....	52
Figura 4.9	Evolução temporal da temperatura interna e externa da sala no dia típico de verão, com 5 ren/h.....	53
Figura 4.10	Evolução temporal da temperatura interna e externa do quarto 1 no dia típico de inverno, com 5 ren/h.....	54
Figura 4.11	Evolução temporal da temperatura interna e externa do quarto 2 no dia típico de inverno, com 5 ren/h.....	54
Figura 4.12	Evolução temporal da temperatura interna e externa da sala no dia típico de inverno, com 5 ren/h.....	55
Figura 4.13	Vista frontal original e Vista frontal proposta	56
Figura 4.14	Vista posterior original e Vista posterior proposta	56
Figura 4.15	Vista lateral direita original e Vista lateral direita proposta	56
Figura 4.16	Vista lateral esquerda original e Vista lateral esquerda proposta.....	57
Figura 4.17	Vista terraço original e Vista terraço proposta	57
Figura 4.18	Vista 1 do espaço <i>gourmet</i>	57
Figura 4.19	Vista 2 do espaço <i>gourmet</i>	58
Figura 4.20	Terraço	58
Figura 4.21	Vista 1 Jardim	59
Figura 4.22	Vista 2 Jardim	59
Figura 4.23	Resultado final	60

Figura 4.24	Planta de cobertura e planta do terceiro pavimento após a proposição final de intervenções	60
Figura 4.25	Cortes e fachada da edificação após a proposição final de intervenções	61
Figura A.1	Carta solar de latitude 20°	67
Figura A.2	Carta solar com período de incidência no solstício de verão e de inverno	68
Figura A.3	Carta solar com área a ser sombreada	68
Figura A.4	Carta solar sobreposta com máscara auxiliar	69
Figura A.5	Corte dos <i>brises</i> horizontais	69
Figura A.6	Vista dos <i>brises</i> horizontais	70
Figura A.7	Resultado final	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	27
Tabela 2.2	Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	27
Tabela 3.1	Propriedades termofísicas dos materiais que compõe o fechamento	33
Tabela 3.2	Dados de dias típicos de verão e de inverno da cidade de Vitória (ES)	34
Tabela 3.3	Absortância para radiação solar e emissividade (e)	43
Tabela 4.1	Temperaturas mínima dos ambientes externo e interno no dia típico de inverno	47
Tabela 4.2	Temperaturas máxima dos ambientes externo e interno no dia típico de verão	47

RESUMO

Grande parte das edificações existentes no Brasil não são projetadas levando em consideração as características climáticas do local no qual estão inseridas e como consequência disso pode ocorrer um desconforto para o usuário nos ambientes internos e um maior gasto de energia no condicionamento dos ambientes da edificação. Essa situação poderia ser revertida se a eficiência energética e os aspectos relativos à arquitetura bioclimática fossem priorizados desde a fase inicial do projeto arquitetônico até a construção final da edificação. A harmonização entre as características arquitetônicas e as condições climáticas do local no qual a edificação está inserida é de extrema importância para se obter um bom desempenho térmico da construção e promover o conforto térmico ao usuário. O uso correto de estratégias bioclimáticas passivas como ventilação natural, aproveitamento da luz natural e o emprego de materiais adequados na envoltória, produzem uma contribuição significativa para o bem-estar dos usuários e com isso a redução do consumo energético no condicionamento da edificação. Tendo em vista esses aspectos, neste trabalho faz-se a avaliação de desempenho térmico de uma edificação localizada em cidade litorânea, e propõe-se a inclusão de *brises*, cobertura estruturada em aço com telhas metálicas, do tipo sanduíche, e revitalização da fachada visando a melhoria do desempenho térmico e o conforto térmico do usuário. Os resultados obtidos constataam a importância da inclusão destas estratégias bioclimáticas passivas na melhoria do desempenho térmico da edificação, observando-se uma queda na temperatura interna de até 3,5°C, nos ambientes de longa permanência localizados no segundo pavimento, que são os ambientes com condições térmicas internas mais críticas.

Palavras-chave: Arquitetura bioclimática, Desempenho térmico, Conforto térmico.

ABSTRACT

Most part of the existing building in Brazil are not designed considering the climatic characteristics of the place they are inserted, and consequently, this can create a discomfort for the user in the internal environments, and a greater energy expenditure used in conditioning of the building environments. This situation could be reversed if the energy efficiency and the aspects related to the bioclimatic architecture were prioritized from the initial phase of the architectural project to the final construction of the building. The harmonization between the architectural characteristics and the climatic conditions of the place the building is inserted, is very important to obtain a good energetic response and to promote the thermal comfort to the user. The correct use of passive bioclimatic strategies such as natural ventilation, use of daylighting and the use of suitable materials in the building envelope, make a significant contribution to the well-being of the users and to the reduction of the energy consumption in the conditioning of the building. Considering these aspects, the present work evaluates the thermal performance of a building located in a seaside town and proposes the inclusion of brises, structured roofing in steel with metal tiles, the sandwich type, vegetation surrounding the building and the change in the color of the closure, in view of the improvement of the thermal performance and the thermal comfort of the user. The results obtained confirm the importance of including these passive bioclimatic strategies to improve the thermal performance of the building, observing a drop in the internal temperature of up to 3.5 ° C in the long stay environments located in the second floor, which are the environments with more critical internal thermal conditions.

Key words: Bioclimatic architecture, Thermal performance, Thermal comfort.

1 INTRODUÇÃO

A harmonização entre as características arquitetônicas e as condições climáticas do local no qual a edificação está inserida é de extrema importância para se obter um bom desempenho térmico do edifício e promover o conforto térmico do usuário. O projeto concebido por meio dos aspectos e dos princípios da Arquitetura Bioclimática busca satisfazer as exigências de conforto térmico utilizando materiais e técnicas passivas apropriadas, proporcionando a adequação do edifício ao clima local.

O desempenho térmico adequado de uma edificação está relacionado diretamente com o bem-estar e a qualidade de vida dos usuários, já o desconforto térmico pode gerar uma queda no rendimento das atividades humanas, além de um gasto energético com estratégias ativas de resfriamento e aquecimento dos ambientes.

As variáveis de construção têm forte influência no desempenho térmico de uma edificação. Essas variáveis devem ser pensadas em conjunto para que um edifício seja termicamente eficiente e proporcione o conforto térmico adequado ao usuário. Visando atingir essa situação, arquitetos e engenheiros devem considerar nas fases iniciais de projeto soluções de construção que adequem o edifício às condições climáticas.

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), o arquiteto deve ter conhecimento a respeito do comportamento das variáveis climáticas do local do projeto ao longo do ano e, assim, aplicar estratégias como resfriamento e aquecimento passivo dos ambientes e fazer o uso da luz natural, a fim de proporcionar o conforto ambiental ao usuário.

O conforto ambiental pode ser explicado como o conjunto de circunstâncias ambientais que possibilitam ao ser humano um bem-estar térmico, visual, acústico e antropométrico. Uma edificação deve garantir o conforto ambiental do usuário, proporcionando um ambiente de qualidade para que este realize plenamente suas atividades cotidianas. Um bom projeto de arquitetura deve responder simultaneamente às necessidades de bem-estar do usuário e à eficiência energética da edificação. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997)

A inadequação do projeto às condições climáticas locais atinge diretamente o desempenho térmico da edificação, o que pode levar à uma maior utilização de equipamentos mecânicos de refrigeração e de sistemas artificiais de iluminação, resultando em um consumo de energia elevado. As edificações das classes residencial, comercial e poder público representam cerca de 50% da parcela do consumo de energia elétrica no Brasil (EPE, 2016). De acordo com o PROCEL (2013) grande parte dessa energia é consumida para prover conforto ambiental aos usuários.

Uma das principais funções da arquitetura é oferecer ambientes internos confortáveis e de qualidade, por meio de condições térmicas compatíveis ao nível de conforto exigido para o ser humano, independente das condições ambientais externas. Quanto mais agradável for o ambiente, mais otimizada poderá ser a tarefa realizada nesse local (ASHRAE, 2013). O uso adequado de estratégias passivas como a ventilação natural, elementos de sombreamento e o emprego de materiais apropriados, permitem melhorias no desempenho térmico da edificação e conforto ambiental do usuário com um menor consumo de energia, tornando a edificação energeticamente eficiente.

1.1 Formulação do Problema

Nas últimas décadas tem-se observado os efeitos da mudança climática no planeta provocada pelo esgotamento de certos recursos naturais, o aumento do efeito estufa e da emissão de gás carbônico na atmosfera, contribuindo para uma maior demanda por energia. Esses e outros fatores contribuem para o aumento da temperatura global e apontam para a necessidade de criar estratégias de racionalização de energia. A arquitetura pode cumprir um importante papel diante desse cenário preocupante e combater a situação por meio da aplicação de estratégias conhecidas como estratégias bioclimáticas. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997)

A maioria das edificações apresenta um grande desperdício de energia, por não considerar os aspectos relativos à arquitetura bioclimática, aos materiais, equipamentos e tecnologias de construção que permitam um melhor uso da energia sem abrir mão do conforto dos usuários. Para tanto, as soluções devem

ser providas desde a fase inicial do projeto arquitetônico, passando pela construção, até a utilização final. (PROCEL, 2013)

As decisões arquitetônicas são de grande impacto para a eficiência energética e o desempenho térmico da edificação, e devem ser tomadas de maneira consciente e de forma que ocorram logo nas primeiras fases de um projeto. O diagnóstico de aspectos climáticos e ambientais do local deve ser apresentado de modo a ser gerador da forma arquitetônica da edificação. O esforço exigido para implementar tais decisões é pequeno comparado àquele que seria necessário posteriormente para reverter efeitos climáticos e respostas energéticas indesejáveis. (BROWN; DEKAY, 2004)

Apesar disso grande parte das edificações existentes no Brasil não são projetadas incorporando os princípios de um projeto eficiente, considerando as condições climáticas locais e uma análise prévia do desempenho térmico da edificação. Os novos empreendimentos acabam reduzindo os custos, repassando-os ao usuário que precisa pagar pelo gasto energético excessivo necessário para promover seu conforto.

Dessa forma, dentro do contexto apresentado, analisa-se o desempenho térmico de uma edificação existente, com uma resposta energética indesejada, com a presença de ambientes que não atendem ao conforto térmico esperado. Para reverter esta situação é proposto a inclusão de estratégias bioclimáticas passivas em um processo de revitalização arquitetônica, verificando a influência dessas no desempenho térmico da edificação.

1.2 Objetivo geral

Avaliar a influência da inclusão de estratégias bioclimáticas passivas no desempenho térmico de uma edificação já construída

1.3 Objetivos específicos

De maneira mais característica neste trabalho cumprem-se os seguintes objetivos específicos:

- atendimento à norma NBR 15.575 (ABNT, 2013);
- dimensionamento de brises mais adequados para a edificação, levando em consideração a radiação e a temperatura do ar;

- definição das estratégias passivas mais adequadas.

1.3 Justificativa

É incontestável a necessidade de adequar a arquitetura e a construção civil às questões climáticas, visando potencializar a concepção de ambientes confortáveis ao usuário sem impactar tanto os recursos naturais e elevar os gastos energéticos. Tendo em vista os problemas relativos aos efeitos da mudança climática, e a escassez de recursos naturais em escala global, se torna cada vez mais imprescindível a redução e a racionalização do consumo de energia nas edificações.

Um desempenho térmico adequado de uma edificação, que atenda às condições de conforto térmico aos seus usuários, pode ser obtido se os parâmetros físicos e climáticos relativos ao balanço térmico do local são considerados na fase inicial do projeto (ABNT, 2013). Porém, grande parte das edificações existentes no Brasil não são projetadas levando em consideração os aspectos da arquitetura bioclimática, resultando em uma menor adequação do edifício às condições climáticas do local, e assim um maior consumo energético, necessário para prover o conforto térmico ao usuário.

Diante dessas ponderações, o trabalho referente à revitalização de uma edificação com foco no seu desempenho térmico e no conforto térmico do usuário é um tópico de grande importância na constante busca por edificações de qualidade com um menor consumo energético. O processo de revitalização arquitetônica por meio da inclusão de estratégias bioclimáticas que proporcionam um desempenho térmico adequado à edificação é uma alternativa para melhorar o conforto térmico em ambientes construídos.

1.4 Estrutura do trabalho

Além deste capítulo, que faz uma breve introdução sobre os aspectos relativos à arquitetura bioclimática, contendo a formulação do problema, o objetivo e a estrutura do texto, o presente trabalho é dividido em mais quatro capítulos.

No capítulo dois faz-se uma revisão bibliográfica sobre as estratégias bioclimáticas, dentro das quais são citadas: a ventilação natural, o sombreamento, a massa térmica, a vegetação, a cor; e o desempenho térmico de edificações. No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia utilizada neste estudo, onde é caracterizado o projeto em análise. Já no quarto capítulo apresentam-se os resultados obtidos a partir da simulação numérica por meio do programa *EnergyPlus* (versão 8.6) e por fim no quinto capítulo expõe-se a conclusão desse estudo e após as referências utilizadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estratégias bioclimáticas

A arquitetura bioclimática pode ser caracterizada como o tipo de construção mais coerente com a natureza do local. A qualidade do conforto térmico interno de uma edificação é resultado do uso de técnicas de construção simples e racionais que intencionem o aproveitamento das condições favoráveis da natureza para o condicionamento ambiental. (COSTA, 1982)

A arquitetura bioclimática procura minimizar os impactos dos efeitos de uma intervenção no meio ambiente e obter um equilíbrio entre o local e o ambiente construído. Para isso são utilizadas estratégias de elaboração de edificações que podem aprimorar o comportamento desta, sua eficiência energética e consequentemente proporcionar conforto térmico ao usuário.

As estratégias que consideram as condições climáticas do local e/ou interagem com o clima, de maneira a proporcionar a adequação do edifício ao clima, são geralmente chamadas de estratégias bioclimáticas passivas. Quando as estratégias bioclimáticas adequadas são utilizadas na concepção de um edifício, este está mais próximo de atingir as condições de conforto, ou de diminuir o consumo de energia para obter tal situação. (GONÇALVES; GRAÇA, 2009)

As estratégias bioclimáticas a serem utilizadas em um edifício devem ser escolhidas considerando-se algumas características, como: a especificidade climática do local, a função do edifício e o seu modo de ocupação, visando proporcionar um bom desempenho térmico. Existem dispositivos de construção que podem ser integrados ao edifício de maneira a contribuir para o aquecimento ou resfriamento natural, que são chamados de sistemas passivos. (TEIXEIRA, 2009)

O uso correto de estratégias como ventilação natural, aproveitamento da luz natural e o emprego de materiais adequados em edifícios, produzem uma contribuição significativa para o bem-estar dos usuários e a redução do consumo energético no condicionamento dos ambientes. Dessa forma, o gasto energético e o conforto ambiental do usuário propiciado por uma edificação dependem,

principalmente, da resposta de seu projeto em relação ao clima local. (VIEIRA, 2008)

2.1.1 Ventilação natural

Em clima quentes a estratégia de ventilação natural desempenha um papel fundamental na melhoria das condições ambientais no interior das edificações, e no conforto ambiental do usuário. Ela utiliza energia limpa e renovável, auxilia no processo de troca de calor e de massa por convecção e principalmente na renovação do ar interno dos ambientes. De acordo com Bittencourt e Cândido (2005), a ventilação natural é apontada como a estratégia bioclimática passiva mais eficiente para a obtenção de conforto térmico, além de ter um alcance social indiscutível.

A ventilação natural contribui para a diminuição da temperatura no interior dos edifícios, e também para o controle da umidade do ambiente, podendo evitar ou minimizar o uso de sistemas de condicionamento artificial. A velocidade do ar por meio da ventilação natural acelera as trocas de calor ao redor do corpo, e assim pode representar um fator importante no conforto térmico em climas quentes ou um desconforto nos climas frios. Sendo assim, a ventilação natural é um importante variável no conforto térmico. (FIGUEIREDO, 2008)

As oscilações de temperatura que ocorrem ao longo do dia em edificações com ventilação natural, podem causar sensações de conforto com temperatura do ar significativamente mais altas que aquelas preferidas sob condições constantes em ambientes condicionados artificialmente. O movimento do ar tem o efeito de reduzir a temperatura percebida pelas pessoas devido às trocas convectivas entre a corrente de ar e o corpo humano, e à evaporação do suor da pele, ampliando, assim, a zona de conforto. (FIGUEIREDO, 2008)

Ventilação natural é considerada como o deslocamento do ar através do edifício por meio de aberturas intencionalmente colocadas, sendo umas funcionando como entrada de ar e outras funcionando como saída de ar. O fluxo de ar no interior das construções é definido principalmente pelo tamanho, forma e a localização das aberturas na edificação. Segundo Frota e Schiffer (2007), as aberturas para ventilação devem estar dimensionadas e posicionadas de modo a proporcionar um fluxo de ar adequado ao ambiente.

O deslocamento de ar que entra e sai das edificações depende da diferença de pressão do ar entre os ambientes internos e externos, da diferença de temperatura, das obstruções internas, da resistência de fluxo de ar das aberturas, e outros fatores referentes à incidência do vento e a forma da edificação. Assim, a ventilação natural nos edifícios ocorre por meio de dois mecanismos (Figura 2.1): a ventilação por ação dos ventos, na qual a força dos ventos promove a movimentação do ar entre os ambientes; e a ventilação por efeito chaminé, na qual a movimentação do ar se dá pela diferença de densidade do ar em função de um gradiente vertical de temperatura. (FROTA; SCHIFFER, 2007)

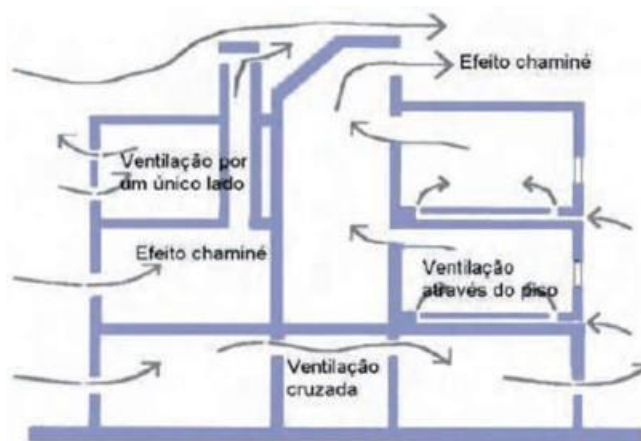


Figura 2.1 – Tipos de ventilação
Fonte: GONÇALVES, 2012.

2.1.2 Sombreamento

A principal causa de desconforto térmico em um país tropical é o ganho de calor provocado pela incidência solar nas superfícies dos ambientes construídos. A radiação solar representa um importante fator para a contribuição do ganho térmico de uma edificação, e assim para o aumento da temperatura dos ambientes internos. Desse modo a primeira estratégia a ser priorizada no projeto arquitetônico é a proteção à radiação solar. (CORBELLA; YANNAS, 2003)

A proteção solar é uma estratégia arquitetônica eficaz para controlar a incidência solar no ambiente interno ao diminuir o impacto direto da radiação solar na superfície da edificação. O dispositivo de proteção solar contribui para uma melhor distribuição da luz no interior dos ambientes, além de minimizar a radiação direta nos ambientes através dos elementos semitransparentes da envoltória, contribuindo para o conforto térmico do usuário.

Os dispositivos de proteção solar de uma edificação envolvem uma série de aspectos, entre eles pode-se citar: a orientação de fachadas, o tratamento de coberturas, e o tratamento do entorno. Podem ser aplicados elementos de proteção para aberturas e entornos que possam minimizar a incidência solar direta, por meio do sombreamento destes. Os elementos de proteção podem se dar na forma de elementos de construção conhecidos, como beirais, marquises prolongadas, elementos vazados, *brises*, pergolados, entre outros. (RIBEIRO, 2008)

Os dispositivos de proteção solar podem ser classificados de duas maneiras, os internos e os externos à edificação. Dentre os dispositivos de proteção solar internos pode-se apontar as cortinas e persianas, que além de compor internamente os ambientes, são responsáveis por ordenar o grau de luz e privacidade que passa por aquela abertura. Esses dispositivos, entretanto, são incapazes de evitar o chamado efeito estufa, um efeito indesejável ao conforto térmico. Bagnati (2013) explica:

“o efeito estufa ocorre quando a maior parte da radiação solar, por transparência às ondas curtas, passa por cima do vidro para o interior do recinto, no qual a energia é absorvida e refletida pelos corpos aquecidos – como porta, mesa, estante, ou um ser vivo por exemplo, porém agora como onda longa. O vidro opaco às ondas longas, impede a saída de boa parcela dessa energia, elevando a temperatura dos locais.”

Dessa forma, existem as proteções externas que controlam a incidência de radiação solar no ambiente, representando uma importante estratégia para o controle dos ganhos de calor proveniente da radiação solar e contribuindo para a redução de condicionamento térmico artificial, e para a conservação de energia. As proteções externas evitam a ação do efeito estufa e quando bem aplicadas, viabiliza o uso adequado da luz natural. (BAGNATI, 2013)

Dentre as diversas opções para proteção externa, pode-se citar a marquise, as varandas, a sacada, o toldo, o *brise-soleil* vertical, o *brise-soleil* horizontal (Figura 2.2), o *brise-soleil* composto por elementos verticais e horizontais, entre outros. São diversas as possibilidades de proteções, e isso depende do exercício criativo do projetista. A aplicação desses elementos depende da orientação da superfície escolhida, e de modo geral deve-se considerar a altura e os ângulos de

incidência solar na fachada que se deseja proteger. (RIBEIRO, 2008; BAGNATI, 2013)

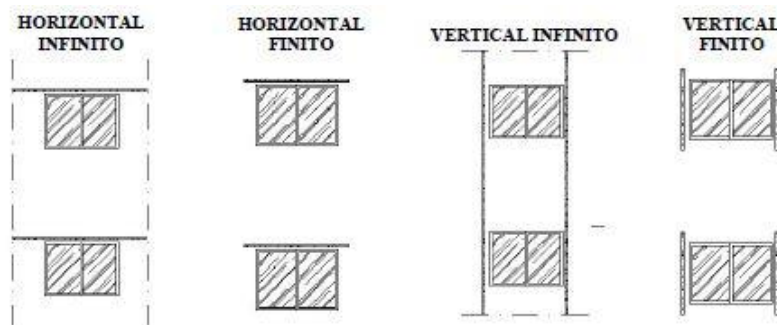


Figura 2.2 – Exemplos de brises horizontais e verticais
Fonte: SILVA, 2007.

O *brise-soleil* é um entre os vários tipos de dispositivos de proteção solar. Sua principal função é impedir que a radiação solar direta atinja as superfícies da edificação, principalmente as que são semitransparentes ou translúcidas. Esse tipo de proteção externa é um elemento de construção, constituído por lâminas geralmente paralelas, externas à edificação. Pode ser classificado por sua tipologia (horizontal, vertical ou combinado), por sua mobilidade (móveis ou fixos), e pela expressão arquitetônica. (GUTIERREZ; LABAKI, 2005)

2.1.3 Massa térmica

A inércia térmica está relacionada à capacidade de uma edificação de armazenar e liberar calor. O uso da inércia térmica diminui a oscilação e os picos de temperatura durante o dia, contribuindo no atraso da condução de calor através do sistema de fechamento. Uma edificação que possui baixa inércia térmica fica muito sensível à variação da temperatura do ar externo; e com uma inércia elevada, a temperatura interna estaria sujeita a uma influência muito pequena das condições climáticas externas. (PAPST, 1999 apud GOMES et al., 2009)

Em outras palavras, o calor armazenado nas paredes de uma edificação é proporcional a massa térmica do elemento da envoltória, quanto maior for a massa térmica, maior será o calor armazenado no material. Este fenômeno é chamado de inércia térmica, e está relacionado à capacidade dos componentes da envoltória de amortecer e atrasar a onda de calor. (BAGNATI, 2013; GOMES, 2007)

A inércia térmica (Figura 2.3) depende dos elementos de construção internos de uma edificação e das características térmicas da envoltória desta. Quando a temperatura externa que a princípio está igual à temperatura interior, se eleva, um certo fluxo de calor permeia a parede no sentido do ambiente de maior

temperatura para o de menor temperatura. Esse fluxo atravessa a parede com um certo atraso e amortecimento, sem permear de imediato, fazendo com que ela se aqueça internamente. (FROTA; SCHIFFER, 2007)

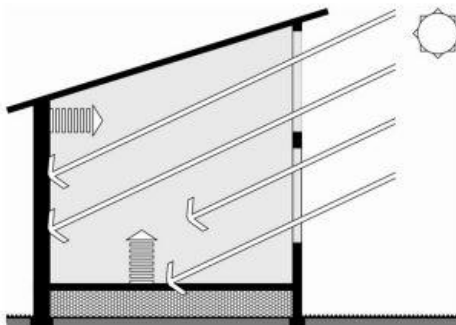


Figura 2.3 – Uso da energia solar e inércia térmica nas paredes internas e no piso de uma edificação

Fonte: GOMES, 2007.

2.1.4 A Vegetação

Chegando mais perto do nível da edificação, tem-se a escala microclimática. Nela variáveis como a vegetação, a topografia, o tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais irão influenciar nas condições locais de clima (Figura 2.4). O microclima pode ser concebido e alterado pelo arquiteto. O estudo das variáveis climáticas desta escala é fundamental para o lançamento do projeto, pois uma série de particularidades climáticas do local pode induzir a soluções arquitetônicas mais adequadas ao bem-estar das pessoas e à eficiência energética. (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997)

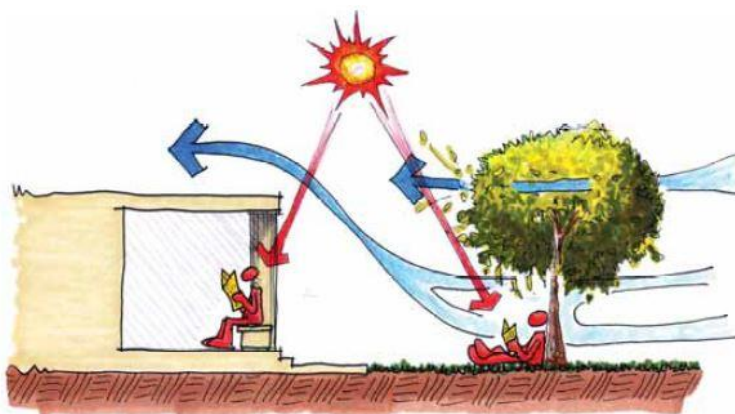


Figura 2.4 – Microclima

Fonte: LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997

Ao longo dos anos as cidades vêm se modificando constantemente, e o crescimento desequilibrado dos centros urbanos devido ao grande aumento da população provocaram diversas mudanças climáticas. A formação de ilhas de calor, ou seja, o aumento da temperatura nas áreas urbanas se deve à grande impermeabilização do solo, aos materiais utilizados nas edificações, que podem ser altamente refletores, absorventes e emissores de energia e, principalmente,

ao grande descaso com a vegetação, ocasionando um desequilíbrio no microclima dessas regiões.

De acordo com Bueno (1998), a falta de vegetação aliada aos materiais utilizados, tem alterado significativamente o clima dos aglomerados urbanos decorrentes da incidência direta da radiação solar nas construções. Isso porque parte da radiação de onda curta que é absorvida, retorna ao meio externo em forma de calor, ou seja, radiação de onda longa, que tem sua dissipação reduzida devido à poluição, transformando, assim, as cidades em grandes estufas. Essa ocorrência tem feito com que o consumo energético para estratégias ativas de resfriamento no interior das construções aumente significativamente nos últimos tempos.

Muitos autores afirmam que devido à facilidade em absorver a radiação solar para ser utilizada em processos biológicos como a fotossíntese e a transpiração, a vegetação se torna um importante elemento regulador da temperatura do ar. Segundo Lombardo (1985), uma maior quantidade de vegetação acarreta na mudança do balanço energético do meio ambiente, ocasionada pela necessidade de as plantas absorverem o calor em função de seus processos vitais. Rigitano (2004) afirma que a árvore é a forma vegetal mais característica da paisagem urbana, à qual tem sido incorporada estreitamente com a arquitetura ao longo dos anos, criando uma ambiência urbana mais agradável.

Em climas tropicais o sombreamento representa um dos elementos fundamentais para a obtenção do conforto térmico. A vegetação se constitui como uma capa que obstrui a radiação solar direta, a difusa, a de onda longa e a refletida, impedindo que sua totalidade atinja as edificações. O resfriamento passivo proporcionado pela vegetação ocorre por dois meios (Figura 2.5), por sombreamento lançado pela vegetação que reduz a conversão de energia radiante em calor sensível, que por consequência reduz as temperaturas superficiais dos objetos sombreados, e por evapotranspiração na superfície da folha, resfriando a folha e o ar adjacente devido à troca de calor latente. (FURTADO, 1994)

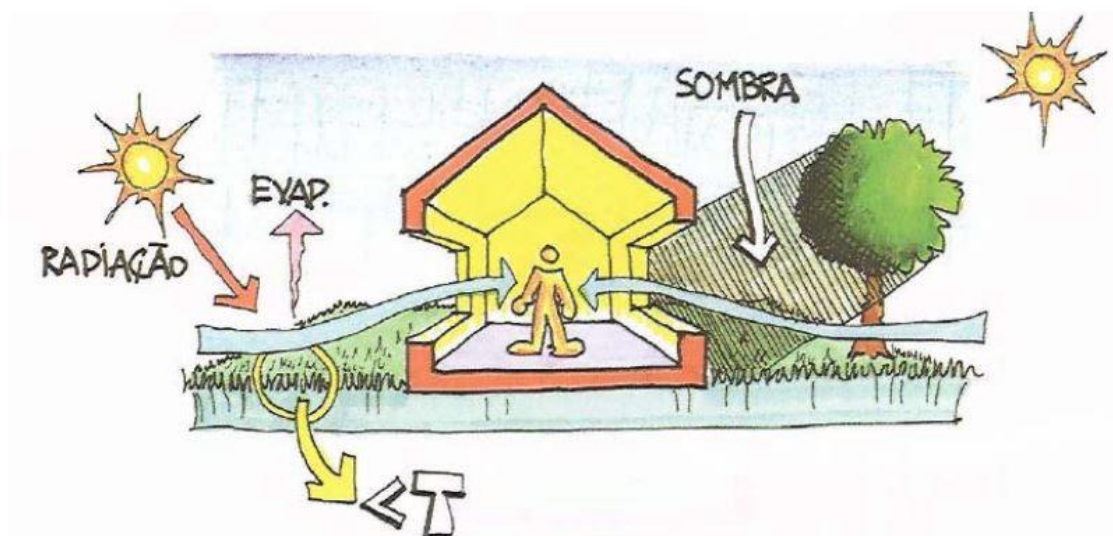


Figura 2.5 – Resfriamento evaporativo em áreas gramadas ou arborizadas
 Fonte: LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997.

Em ambientes arborizados, a vegetação pode interceptar entre 60% a 90% da radiação solar, causando uma redução considerável da temperatura da superfície do solo. Para que a vegetação atenda a função microclimática é preciso que o elemento vegetal represente no mínimo 30% da superfície urbanizada, de forma que este receba a quantidade de água suficiente para a sua sobrevivência e a realização dos seus processos vitais. Assim, é de extrema importância levar em consideração o desenho dos jardins nas edificações, já que estes podem influenciar no microclima no interior das construções e trazer a satisfação dos usuários. (OLGYAY, 1973; BUENO, 1998)

A escolha e a inserção da espécie arbórea ideal próxima a uma edificação considera diferentes critérios, como a orientação da fachada que se deseja sombrear, a forma e a disposição das raízes, visando não prejudicar as construções com o seu desenvolvimento, a altura da árvore adulta, o espaço disponível no terreno, a topografia, a estética, a segurança e a qualidade visual do usuário nos ambientes internos das edificações. (PIVETTA, 2010)

2.1.5 A Cor

As estratégias de otimizar o desempenho térmico e planejar ambientes mais confortáveis, devem ser pensadas levando em consideração também a escolha das cores a serem utilizadas na envoltória da edificação. É importante compreender os aspectos fisiológicos, psicológicos e estético das cores visando

escolher o melhor pigmento, já que este pode influenciar diretamente no conforto térmico e visual do ambiente projetado.

A cor é um dos componentes da linguagem arquitetônica responsável pela concretização do ambiente construído e está relacionada a diferentes elementos que compõe as edificações, como a forma, a dimensão, a textura, a luz, a sombra e o meio. A cor sempre esteve presente na arquitetura e além de seu papel como elemento de composição arquitetônica, apresenta grande influência no desempenho térmico das construções. A tinta aplicada nas superfícies externas das edificações age como um filtro das radiações solares e determina o as condições térmicas dos ambientes internos, conforme o índice de reflexão da cor usada. (ROSADO, PIZZUTTI, 1997)

O calor que atravessa a envoltória por condução é influenciado pelo índice de absorção da radiação solar da cor utilizada nesta. Quanto maior o índice de absorção, maior será a temperatura superficial externa maior o calor que atravessará a envoltória da edificação ocasionando um aumento no calor nos ambientes. Dessa forma, o conhecimento dos índices de reflexão e os coeficientes de absorção de cada pigmento de tinta se torna imprescindível na escolha da cor da envolvente da edificação. (ROSADO, PIZZUTTI, 1997)

Segundo Mascaró (1983), a quantidade de calor ocasionada pela radiação solar, recebida pela cobertura e pela fachada de um edifício está relacionada com a sua altura. Em construções térreas, 70% do calor transpassa pela cobertura e 30% pelas fachadas. Em construções com dois ou mais andares, a situação se equilibra em 50% da radiação solar pela cobertura e 50% pelas fachadas. Já em edifícios com mais de 7 andares, a situação encontra-se invertida com 70% atingindo as fachadas e 30% atingindo a cobertura.

2.2 Desempenho térmico de edificações

É inquestionável a importância do desempenho térmico para a construção civil. A adequação da edificação ao clima no qual ela está inserida deve proporcionar o conforto térmico ao usuário com o menor gasto de energia possível. A eficiência energética de uma edificação pode ser caracterizada como a obtenção de um bom desempenho térmico com um baixo gasto energético. Dessa forma, um edifício é mais eficiente do que o outro quando proporciona as mesmas

condições de conforto com o menor consumo de energia. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997)

Avaliar uma edificação em relação ao seu desempenho térmico significa averiguar se as condições do ambiente são desejáveis em relação ao conforto térmico proporcionado aos usuários com o menor gasto energético possível. A análise é realizada levando em consideração a resposta global da edificação às trocas de calor e de massa entre o meio externo e o ambiente interno, e está associada à influência de algumas variáveis, tais como o tipo de atividade e de ocupação exercida no ambiente construído, os parâmetros climáticos locais, o número de ocupantes e as propriedades termofísicas do sistema de fechamento e componentes de construção. (AKUTSU, 1998)

Em edificações naturalmente ventiladas, a avaliação do desempenho térmico consiste em verificar se os requisitos estabelecidos em função das exigências humanas de conforto térmico são atendidos nos ambientes internos. Em edificações condicionadas artificialmente, a verificação ocorre por meio da demanda de cargas térmicas para o condicionamento de ar dos ambientes internos. (VITTORINO, 2005; AKUTSU, 1998)

A norma de desempenho térmico de edificações, NBR 15.220 (ABNT, 2005) estabelece um zoneamento bioclimático que divide o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (Figura 2.6). A norma determina um conjunto de recomendações técnicas e de construção que associam as estratégias de condicionamento térmico passivo com os limites aceitáveis de indicadores do desempenho térmico para cada região delimitada no zoneamento.

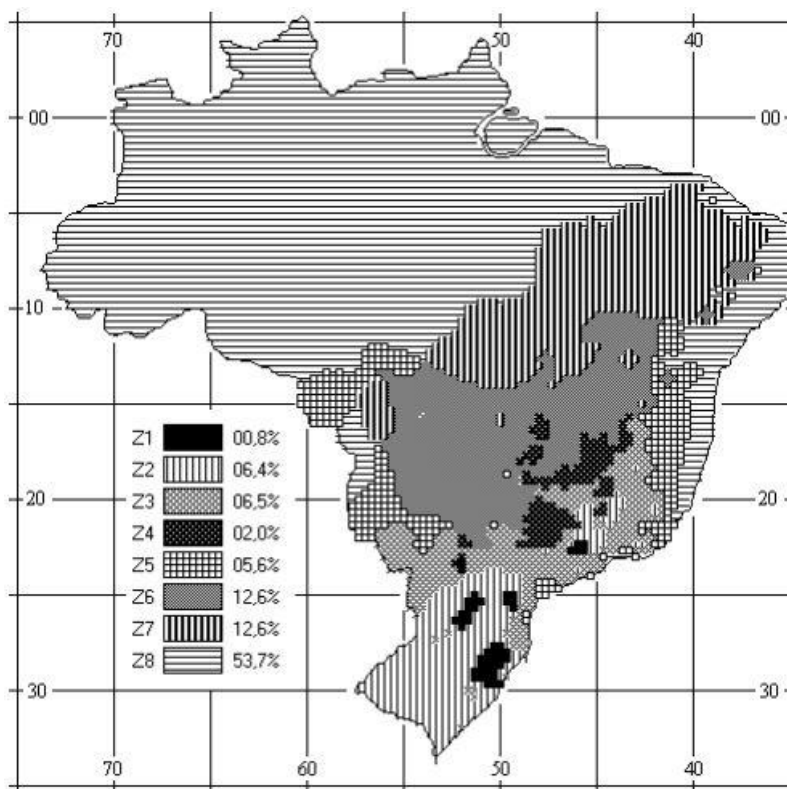


Figura 2.6 – Zoneamento bioclimático Brasileiro

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

A avaliação do desempenho térmico envolve um número grande de variáveis definidas por um regime dinâmico de troca de calor e de massa entre os ambientes internos da edificação e o meio externo. Por ser uma análise complexa, as ferramentas analíticas são limitadas e pouco eficazes em termos de tempo e exatidão quando comparadas a simulação numérica. O programa de simulação numérica torna possível verificar quais os períodos críticos de aquecimento e/ou resfriamento da edificação. (AKUTSU, 1998; ABNT, 2013)

Segundo a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), a avaliação de desempenho térmico deve ser realizada para um dia típico de projeto de verão e um dia típico de projeto de inverno. O dia típico de projeto de verão é definido como o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos, e o valor máximo diário da temperatura do ar interior nos ambientes de permanência prolongada (sala e/ou dormitórios), sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, entre outros) deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. O dia típico de projeto de inverno é definido como o dia mais frio do ano segundo a média do período nos últimos 10

anos; e o valor mínimo da temperatura do ar interior de ambientes de permanência prolongada (sala e/ou dormitórios), deve ser sempre maior ou igual à temperatura mínima externa acrescida de 3°C.

Em ambos os dias, o nível para aceitação é o denominado mínimo (M), porém para que possa alcançar conforto térmico ao usuário é recomendado os níveis intermediário (I) e/ou superior (S), dependendo da região bioclimática, conforme é mostrado nas tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 2.1 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Mínimo (M)	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$
Intermediário (I)	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 1^{\circ}\text{C})$
Superior (S)	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,máx} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ}\text{C})$
<p>$T_{i,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA Zona bioclimática de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013)

Tabela 2.2 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6,7 e 8
Mínimo (M)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nessas zonas, este critério não precisa ser verificado
Intermediário (I)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
Superior (S)	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	
<p>$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA Zona bioclimática de acordo com a ABNT NBR 15220-3.</p>		

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)

2.3 Requalificação de uma edificação

Requalificação e reabilitação de edifícios são práticas cada vez mais comuns nos dias de hoje, e utilizam diferentes tipos de tecnologia para atualizações de um espaço ou de um elemento visando torná-los mais funcionais e também com desempenho térmico mais adequado. Nesse contexto, surgiu o termo inglês *retrofit*, que caracteriza um tipo específico de reforma na qual o principal objetivo

é adaptar e renovar as edificações e os equipamentos, visando sua eficiência energética, mantendo as características intrínsecas do local. (SOUSA, 2014)

Preservar uma construção é reconhecer sua importância e seu valor patrimonial, o que faz com que as requalificações sejam realizadas. A requalificação arquitetônica pode trazer diversos benefícios para as construções como diminuição de custos com a manutenção, a maior possibilidades de uso do local, redução de gastos com energia e água, além de garantir o atendimento às normas de desempenho. Desse modo algumas simples soluções, como a utilização e a inclusão de estratégias passivas, podem possibilitar que o ambiente construído se torne mais eficiente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho envolve uma abordagem numérica para avaliação do desempenho térmico da edificação, realizada por meio de simulação computacional utilizando o programa *EnergyPlus* (versão 8.6) e contempla as seguintes etapas:

- caracterização da edificação;
- caracterização e configuração dos fechamentos;
- caracterização das condições climáticas;
- proposição de estratégias passivas;
- análise das interações térmicas entre o ambiente interno e o externo;
- a obtenção da distribuição diária da temperatura do ar dos ambientes.

3.1 Localização e caracterização da edificação em estudo e do seu sistema de fechamento.

O objeto de estudo desse trabalho é uma edificação (Figura 3.1) que está localizada na Zona Bioclimática 8, na cidade de Guarapari-ES (Figura 3.2). A edificação está localizada no Centro da cidade de Guarapari, na Rua da Matriz, número 258. A construção se encontra próxima à antiga Matriz de Guarapari, a Paróquia Nossa Senhora da Conceição, igreja que deu início ao povoamento de Guarapari, sendo o marco de fundação da cidade (Figura 3.3).



Figura 3.1 – Vistas da edificação



Mapa do Brasil

Mapa do Espírito Santo

Mapa de Guarapari

Figura 3.2 – Localização da edificação

As edificações localizadas no entorno imediato do objeto de estudo se caracterizam como residenciais e possuem até dois pavimentos. A quadra em que se encontra a edificação é cercada por três vias locais, Rua da Matriz, Rua Ismael de Paula Loureiro e Ladeira Salvador Souza, e possuem uma boa arborização (Figura 3.4).

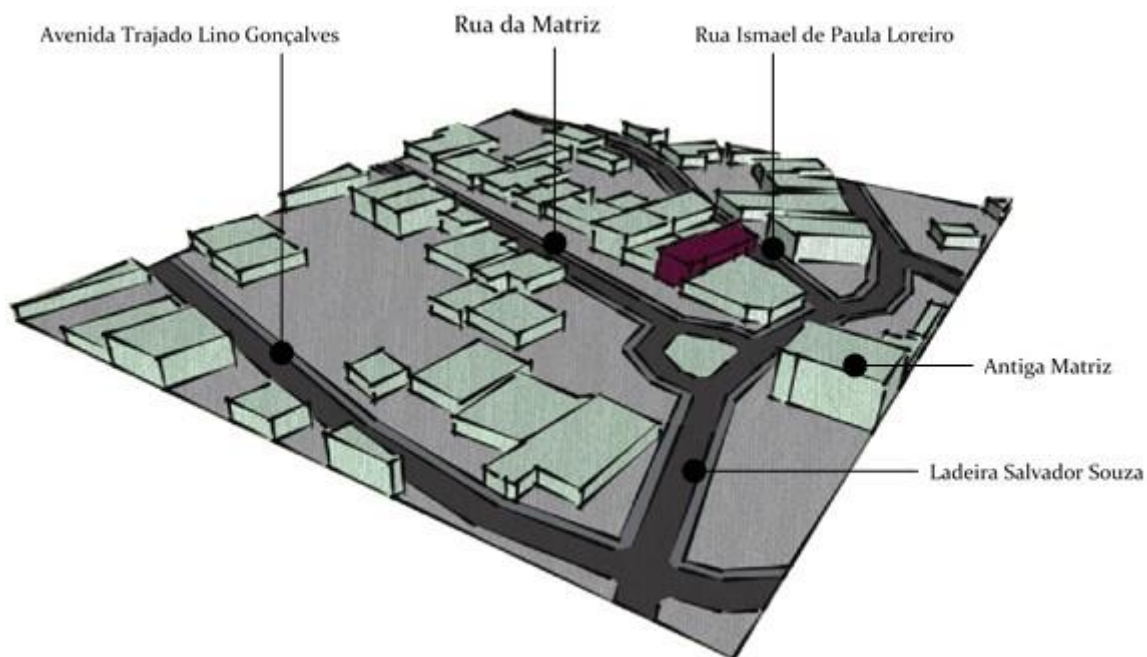


Figura 3.3 - Esquema de parte do bairro situando a edificação em estudo



Figura 3.4 – Situação da edificação com o entorno imediato

O lote no qual a edificação se encontra possui uma área de 311 m², perímetro de 73,7m, e é cercado por duas edificações residenciais e duas vias locais (Figura 3.5). O acesso à edificação é feito apenas por uma via, a Rua da Matriz.

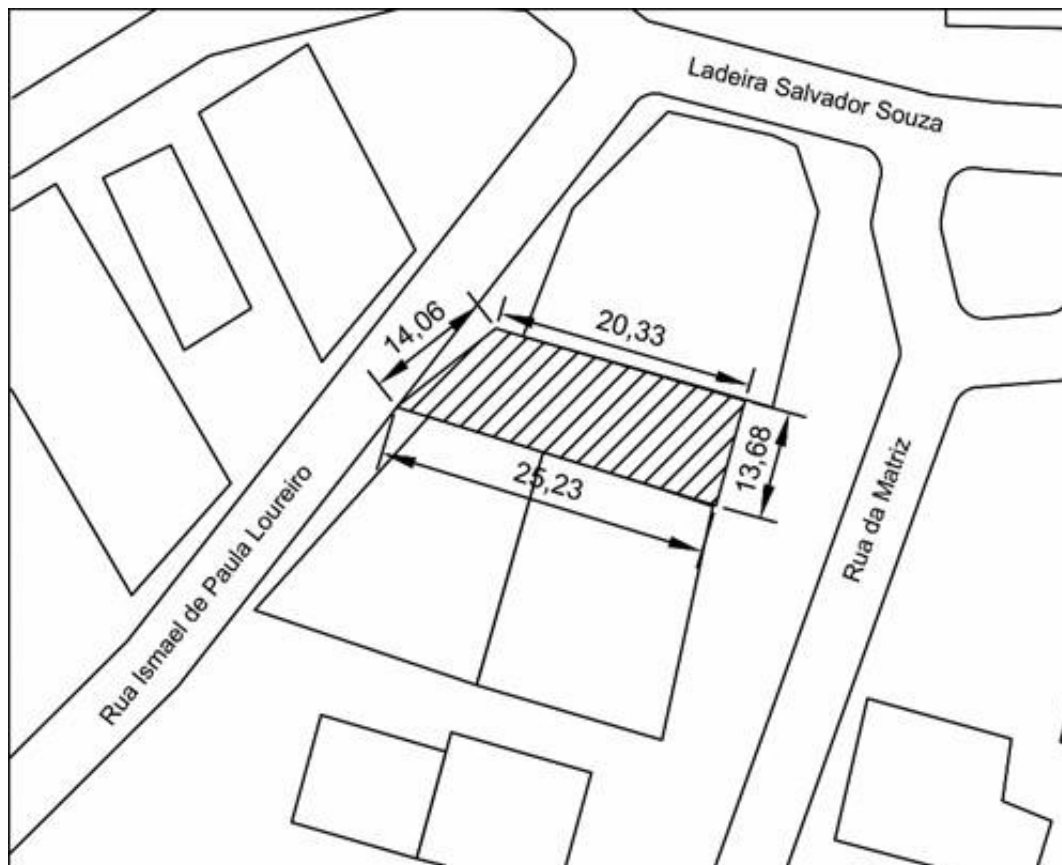


Figura 3.5 – Planta de situação da edificação

A edificação ocupa uma área de 120 m² no lote (Figura 3.6), e possui 3 pavimentos que contam com sala, escritório, cozinha, despensa, área de serviço, 2 suítes, 2 quartos, 2 banheiros e uma área descoberta (Figura 3.7 e Figura 3.8).

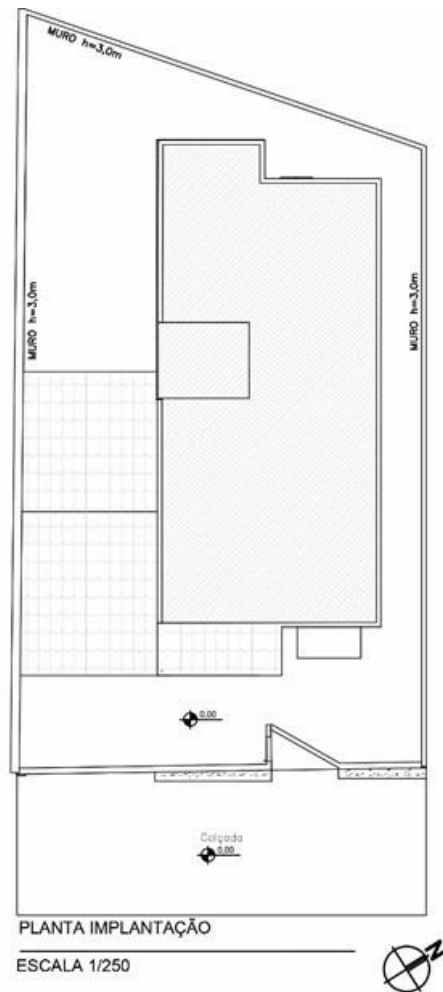


Figura 3.6 – Planta de implantação da edificação



Figura 3.7 – Plantas baixas da edificação



Figura 3.8 – Cortes e fachada frontal da edificação

Na Tabela 3.1, apresenta-se os materiais que constituem o fechamento e as suas propriedades termofísicas.

Tabela 3.1 – Propriedades termofísicas dos materiais que compõe o fechamento.

Material	Espessura (m)	ρ (kg/m ³)	c (J/kgK)	λ (W/mK)
Alvenaria (lajotas 9x19x29 cm)	0,19	500	1000	0,17
Argamassa Comum	0,015	2100	1000	1,15
Compensado	0,03	550	2300	0,15
Concreto Laje	0,1	2400	1000	1,75
Piso Cerâmico	0,01	2000	920	1,05
Aço Estrutural	0,00475	7800	460	55
Forro	0,01	1400	100	0,2
Tinta amarela	0,001	2300	920	1,15
Aço galvanizado	0,001	7800	460	55
Lã de rocha	0,03	48	750	0,045
Pintura impermeabilizante	0,001	2300	920	1,15
Aço estrutural	0,00475	7800	460	55
Vidro comum	0,006	2500	840	1

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005).

O sistema de fechamento da edificação é composto por paredes com uma camada externa de 0,1 cm de espessura de pintura em tinta amarela, uma camada de 1,5 cm de espessura de argamassa comum, seguida por uma camada de tijolos de 19 cm de espessura e por uma camada interna de 1,5 cm

de espessura de reboco de argamassa comum. O vidro que compõe as janelas é um vidro refletivo de 6mm de espessura que possui uma baixa transmitância térmica.

3.2 Caracterização das condições climáticas do local

A cidade de Guarapari encontra-se a uma latitude de 20°40'00" e 40°29'51" a oeste de Greenwich, com altitude de 2 metros e caracteriza-se como clima Tropical Atlântico, característico das regiões litorâneas do Brasil, onde as chuvas são abundantes, e as temperaturas médias variam entre 18°C e 26°C.

De acordo com a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), na falta de dados climáticos para a cidade onde se encontra a edificação, é recomendado utilizar os dados de uma cidade próxima com características climáticas semelhantes, que se encontre na mesma Zona Bioclimática Brasileira, conforme indicado na NBR 15220 - Parte 3. Dessa forma, devido à falta de dados climáticos para a cidade de Guarapari - ES, a simulação é realizada considerando a cidade de Vitória - ES, também pertencente à Zona bioclimática 8, conforme mostrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Dados de dias típicos de verão e de inverno da cidade de Vitória (ES).

ZONA BIOCLIMÁTICA 8	Estação	$T_{e,max}/T_{e,min}$ diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	T_e bulbo úmido	Radiação solar (Wh/m ²)	Nebulosidade (décimos)
Vitória (ES)	Verão	34,6	7,4	25,9	4068	5
	Inverno	16,7	6,9	20,4	2973	5

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

As condições climáticas são caracterizadas por valores tais como a temperatura externa máxima, temperatura interna mínima, amplitude diária de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar incidente em superfície horizontal e pela velocidade média do vento predominante nos dias típicos de projeto de verão e de inverno.

3.3 Parâmetros da simulação numérica

Para a avaliação do desempenho térmico do modelo proposto é utilizado o software *EnergyPlus* (versão 8.6). O *EnergyPlus* é um programa de simulação de edificações baseado nas características e capacidades dos programas BLAST e DOE-2. Optou-se por esse software por ser recomendado pela norma

NBR 15.575 (ABNT, 2013) e possibilitar simulações de diversas tipologias arquitetônicas, sistemas de construção e de condicionamento de ar, fornecendo a resposta global da edificação em relação às interações térmicas e de massa entre o ambiente interno e o meio externo.

O EnergyPlus foi desenvolvido pelo Departamento de Energia em cooperação com o Laboratório de Pesquisa do Departamento de Engenharia de Construção do Exército Norte-Americano, a Universidade do Estado de Oklahoma, o Departamento de Energia do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley e do Centro de Engenharia Solar da Flórida (CRAWLEY et al., 2000). Adota-se o módulo de ventilação natural com taxas de ventilação e/ou renovação do ar constantes (*ZoneVentilation*) no processo de simulação numérica via *EnergyPlus*, conforme recomendação da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Ainda de acordo com a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), para a avaliação do desempenho térmico via simulação numérica, deve-se simular todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos de permanência prolongada como dormitórios e sala. A orientação da unidade habitacional escolhida para a simulação deve ser tal que haja pelo menos um dormitório ou sala com duas paredes expostas. Caso a orientação da edificação não esteja definida, deve ser posicionada de forma que tenha a condição mais crítica do ponto de vista térmico. Como condição crítica, recomenda-se que:

- a) verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte;
- b) inverno: janela do dormitório ou sala voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste.

Deve-se também considerar a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas, nas seguintes condições:

- condição padrão: ambientes com ventilação somente por infiltração através de frestas em janelas e portas, a uma taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0ren/h) e janelas sem sombreamento;

- condição de ventilação sem sombreamento: ambiente ventilado a uma taxa de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h)

De acordo com a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), a absorvância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas, de acordo com as orientações a seguir:

- a) cobertura: valor especificado no projeto que corresponde ao material determinado para o telhado ou outro elemento que constitua a superfície exposta da cobertura;
- b) parede: assumir o valor da absorvância à radiação solar correspondente à cor definida no projeto. Caso a cor não esteja definida, simular para três alternativas de cor:
 - cor clara: $\alpha = 0,3$
 - cor média: $\alpha = 0,5$
 - cor escura: $\alpha = 0,7$.

3.3.1 Etapas da simulação numérica

Para a avaliação do desempenho térmico são definidas zonas térmicas para a modelagem geométrica da edificação. Uma zona térmica é caracterizada por um volume de ar de temperatura uniforme e é formada por superfícies que constituem os fechamentos da edificação: piso, parede, portas, janelas, teto e cobertura. Estes fechamentos são caracterizados pelos materiais e relacionados às condições de abertura e ventilação. Para a simulação da edificação em estudo cada ambiente corresponde a uma zona térmica específica (Figura 3.9). (GOMES, 2007)



Figura 3.9 – Disposição das zonas térmicas

Dessa forma, a partir da definição das zonas térmicas é realizada a modelagem geométrica da edificação, como é mostrado na figura 3.10.

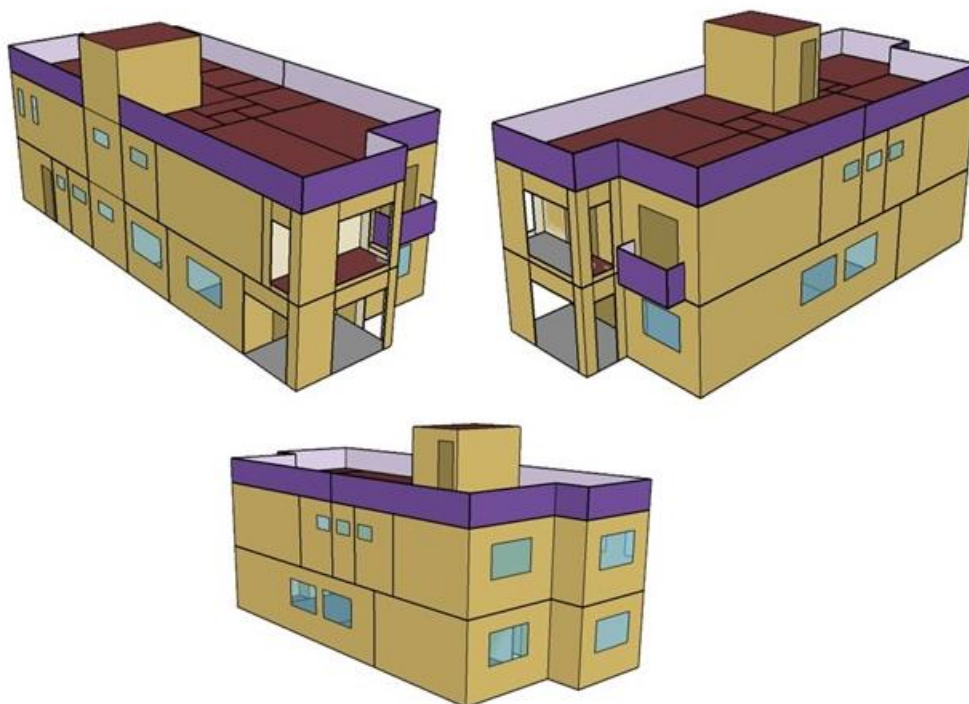


Figura 3.10 – Perspectivas da volumetria gerada

3.4 Proposição de estratégias passivas

3.4.1 Elementos de sombreamento: *Brisés*

As aberturas em uma edificação constituem um dos aspectos principais do projeto arquitetônico, que visam o conforto ambiental e o uso energético eficiente no ambiente construído. Em climas mais quentes, o uso de protetores solares nas aberturas é fundamental para o controle de ganho de calor e luz nas aberturas.

O *brise-soleil* ou quebra-sol representa um elemento arquitetônico cuja sua função é sombrear, visando minimizar a incidência solar direta sob uma construção. Assim, são evitados problemas de ganho de calor, iluminação, superaquecimento, além da redução de sistemas ativos de condicionamento, proporcionando a conservação de energia. (SILVA, 2007)

Diante dessas observações, é feita a proposição dos *brises* na edificação em estudo, visando amenizar os efeitos da incidência solar direta. Após uma análise da orientação da edificação, foi identificado que entre os ambientes de permanência prolongada (sala e/ou dormitórios), os quartos 1 e 2 (Figura 3.7) se encontram na fachada com incidência solar mais crítica, e assim se tornam os ambientes mais propícios para a instalação da proteção solar. A inclusão de *brises* nas aberturas dos quartos, visa a melhoria do conforto térmico e um menor gasto energético com estratégias ativas para reverter a situação de desconforto devido a incidência solar direta.

3.4.1.1 Dimensionamento do *brise-soleil* com auxílio da carta solar

A carta solar, também conhecida como diagrama solar, é uma representação gráfica¹ do percurso do sol em períodos distintos do dia e do ano. Ela é diferenciada conforme latitude, e para isso é considerado o percurso aparente do sol ao se deslocar numa trajetória elíptica ao redor da terra. (SILVA, 2007)

¹ Existem três métodos de representação do percurso do sol: métodos físicos (modelos como heliodon, solarcopio, relógio solar), métodos gráficos (diagramas solares e transferidores de ângulos de sombra) e métodos computacionais (aplicativos específicos). Porém, dentre esses instrumentos, o método gráfico, através das cartas solares, se apresenta como o mais adequado, por ser mais compatível com o projeto de arquitetura e disponível para vários locais. (FROTA, 2004)

Dos movimentos aparentes do sol resultam os solstícios e os equinócios. Os solstícios podem ser de Inverno (21/06) ou de Verão (21/12) e os equinócios, nos quais os dias tem a mesma duração das noites, e podem ser de Primavera (22/09) ou de Outono (22/03), como pode ser observado na figura 3.11. Conforme a posição em que o observador se encontra, o percurso aparente do sol é percebido de forma diferente.

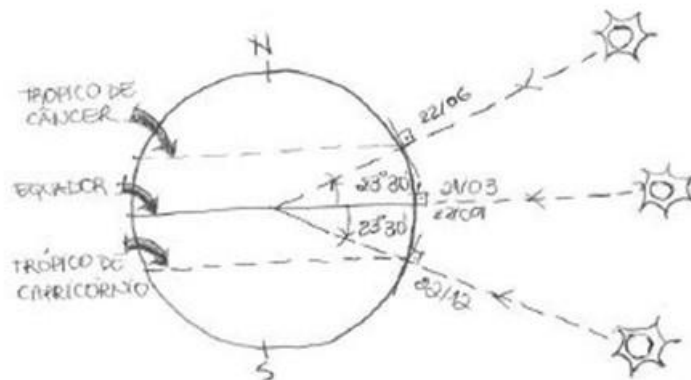


Figura 3.11 – Percurso do sol nos Solstícios e nos Equinócios
Fonte: SILVA, 2007.

As cartas solares também apresentam os pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste), os azimutes, que são representados por linhas que se disseminam do centro, as alturas solares, identificadas na linha Norte/Sul, as linhas curvas de leste a oeste, representando o percurso do sol para cada mês, e as linhas horárias que interceptam as curvas e indicam as horas ao longo do dia (Figura 3.12).

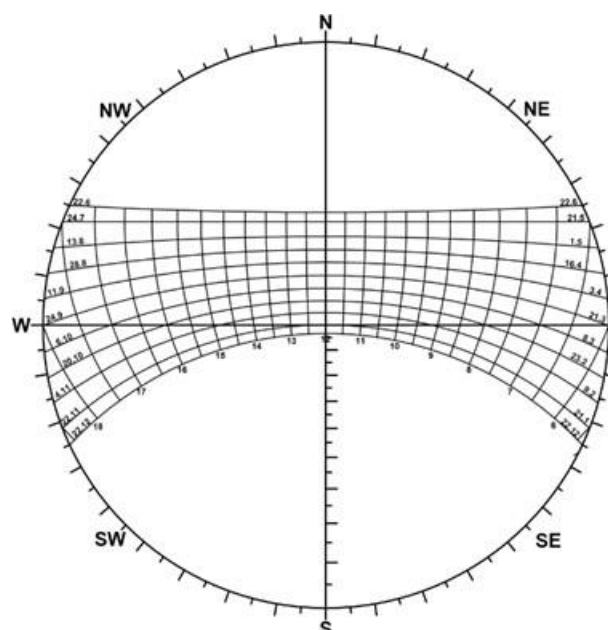


Figura 3.12 – Carta solar para latitude 20°

A carta solar é usada juntamente com o transferidor auxiliar, que permite a leitura dos ângulos α , β e γ (Figura 3.13). O ângulo α é determinado no corte e medido a partir do plano horizontal que passa pelo observador, de 0° a 90° , que corresponde à altura solar; os ângulos β são determinados em planta, podendo medir de 0° a 90° para a esquerda ou à direita, de acordo com a posição em relação à normal da fachada, representando os azimutes; e os ângulos γ que são determinados em elevações, a partir do plano horizontal que passa pelo observador. (SILVA, 2007)

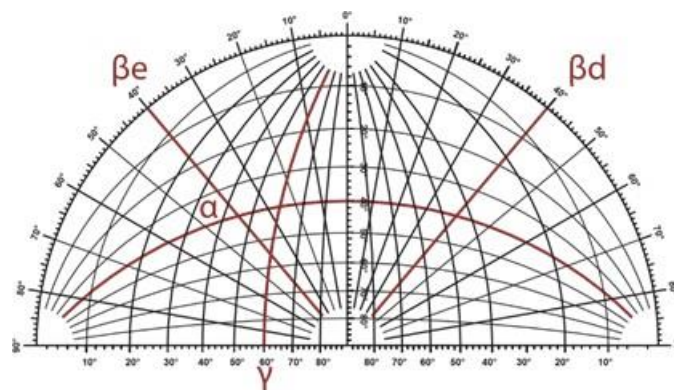


Figura 3.13 – Transferidor auxiliar com os ângulos α , β e γ

Após realizado o dimensionamento dos *brises* (Apêndice A), foram propostos quatro *brises* horizontais de 37cm de largura e 251,6cm de comprimento, como pode ser observado nas Figuras 3.14 e 3.15.

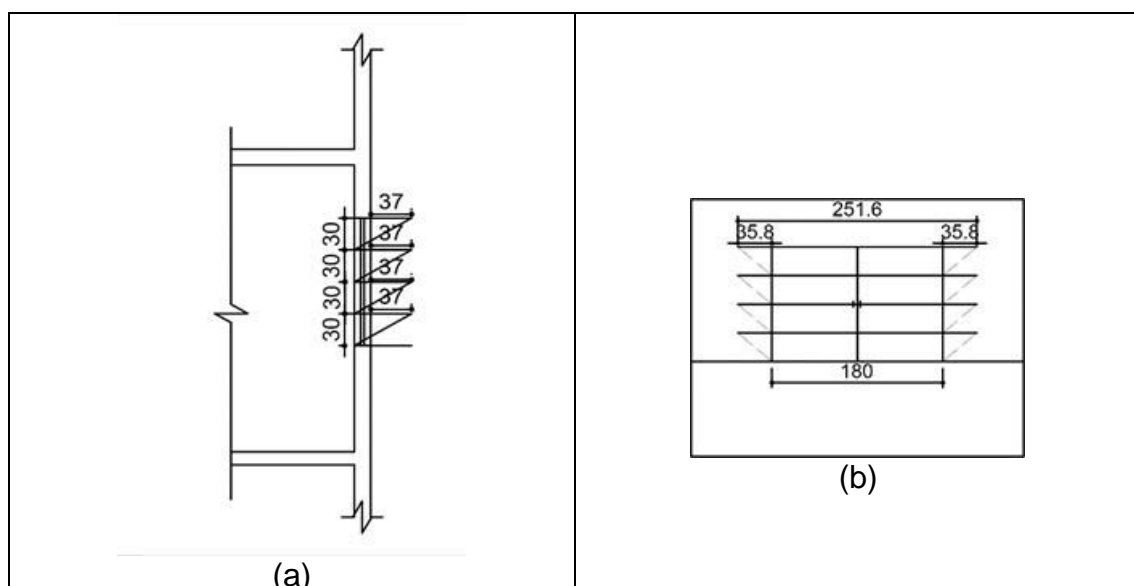
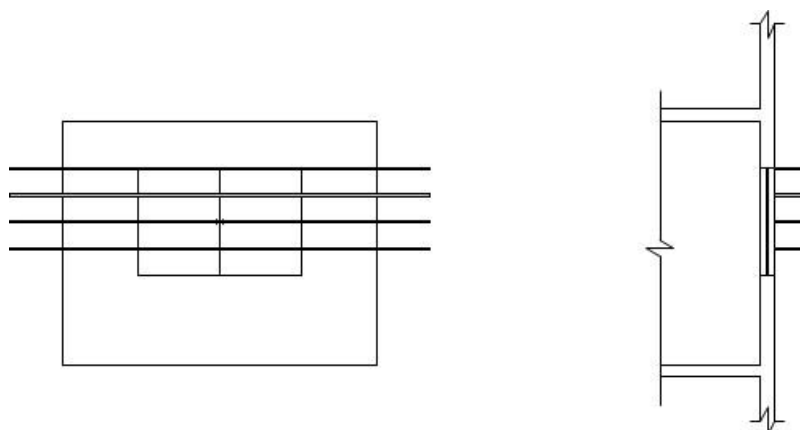


Figura 3.14 – Brise proposto a) Corte b) Vista



(a) (b)
Figura 3.15 –Resultado final brise a) Vista b) Corte

3.4.1.2 Proposição de material para o brise-soleil

Os materiais predominantemente utilizados no brise-soleil até 1940 eram o concreto, o fibrocimento ou a madeira. Atualmente, além desses, são usadas placas de concreto celular, chapas de aço, chapas de aço perfuradas, perfis de alumínio, telas, vidros, policarbonatos ou outros materiais transparentes, *brises* fotovoltaicos, que captam a energia solar, e sistemas inovadores para bloqueio solar e captação de luz. (SILVA, 2007)

Os *brises* que são propostos para edificação são metálicos produzidos em perfis de alumínio. Foi escolhido esse tipo de material devido a sua leveza, maior rapidez de execução, menor agressividade ao meio ambiente e maior facilidade de limpeza.

3.4.2 Proposição da cobertura

É proposta a inclusão de uma cobertura de estrutura em aço com telha sanduíche, inicialmente na parte posterior do terceiro pavimento da edificação. A proposição da cobertura visa a melhoria do desempenho térmico da edificação, principalmente na parte posterior, onde se encontram os ambientes localizados na fachada noroeste, que recebe incidência solar durante toda a tarde. Essa estratégia impede a incidência solar direta no terceiro pavimento da edificação, que, por ser uma área completamente descoberta recebe radiação solar durante todo o dia. Dessa forma, a inclusão da cobertura ameniza os efeitos da radiação solar direta, melhorando o conforto térmico do usuário.

A cobertura é composta por vigas e pilares em aço e telha sanduíche (Figura 3.16). É proposta uma cobertura estruturada em aço devido às várias vantagens que o este material possui, entre elas, pode-se citar maior leveza e resistência do aço, maior facilidade de montagem, menor tempo de execução, maior espaço útil por possibilitar pilares de menor seção, e maior resistência à corrosão. Esta última característica é de grande importância para a edificação em estudo, que por se localizar em cidade litorânea está exposta à maresia e conseqüentemente à corrosão acelerada.



Figura 3.16 – Perspectivas da cobertura estruturada em aço

A telha sanduíche é composta por duas chapas de aço galvanizado, com um material isolante entre elas. Esse material é geralmente feito de EPS, popularmente conhecido como isopor, ou PUR, placas de poliuretano, que promovem um excelente isolamento térmico. Dessa forma, a escolha desse tipo de telha para a cobertura é devido a sua facilidade de instalação e manutenção e, principalmente, por possuir um ótimo isolamento térmico e acústico.

3.4.3 Proposição de alteração da cor e de vegetação no entorno

É proposta a inserção de um jardim na área térrea pavimentada da edificação em estudo, visando melhorar o desempenho térmico desta. Para isto são escolhidas algumas espécies arbóreas para serem plantadas no jardim de acordo com as características de cada espécie, considerando a velocidade de crescimento, tamanho, altura, forma das copas, ornamentação, e o tipo de folhas. Foram escolhidas as seguintes espécies (Figura (3.17): Pata-de-Vaca, Buxinho e Oleandro/Espirradeira por apresentarem características ornamentais atraentes para utilização tanto no paisagismo residencial quanto em arborização em geral, e por serem de médio porte com raízes tipo pivotante.



Figura 3.17 – Espécies de vegetação propostas

De acordo com a norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), para escolha da cor utilizada na envoltória da edificação é analisado o índice de absorvância para radiação solar (ondas curtas) e o índice de emissividade (e) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas), como é apresentado na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Absortância para radiação solar e emissividade (e)

Pintura	Absortância (α)	Emissividade (e)
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2013)

A pintura da fachada da edificação original é de cor amarela, assim, visando a melhoria do desempenho térmico desta é proposta uma fachada com pintura em cor branca, cor que apresenta uma absorvância menor.

3.5 Casos de propostas de estratégias avaliados

A simulação é realizada considerando-se primeiramente a edificação original, e em seguida considerando-se a inclusão das estratégias bioclimáticas passivas propostas, visando avaliar a influência destas no desempenho térmico da edificação. Dessa forma, é realizada a inclusão dos *brises* nas aberturas dos quartos, da implantação da cobertura em telha sanduíche com estrutura em aço na parte posterior da edificação e da vegetação no entorno imediato. Além disso, é realizada a ampliação das aberturas do quarto 1 e a alteração da cor da envoltória da edificação.

Para a modelagem da vegetação, mais especificamente da espécie arbórea escolhida, a Pata de vaca, é representado o sombreamento semelhante ao obtido por um elemento de construção pergolado com espaçamento de acordo com a densidade foliar da espécie, como é mostrado na figura 3.18. A espécie Pata de vaca apresenta uma densidade foliar média, dessa forma utiliza-se um espaçamento mediano entre as pérgolas.

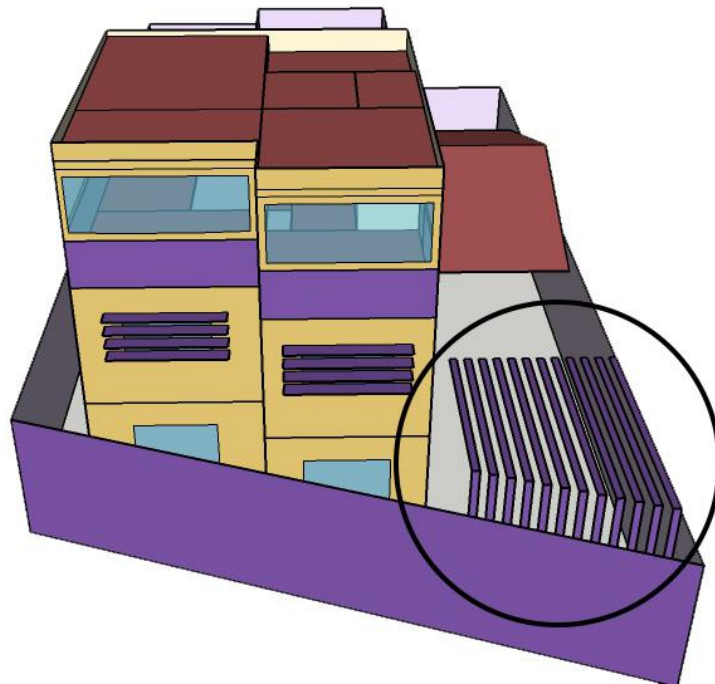


Figura 3.18 – Representação da vegetação

É considerado também a inclusão de um fechamento lateral em vidro na cobertura, analisando-se a influência deste no desempenho térmico da edificação. Dessa forma, é realizada a simulação considerando a edificação com e sem o fechamento na cobertura, em conjunto com as demais estratégias propostas. Na figura 3.19 é representado as perspectivas da edificação com o fechamento lateral em vidro, e na figura 3.20 é representado as perspectivas da edificação sem o fechamento.

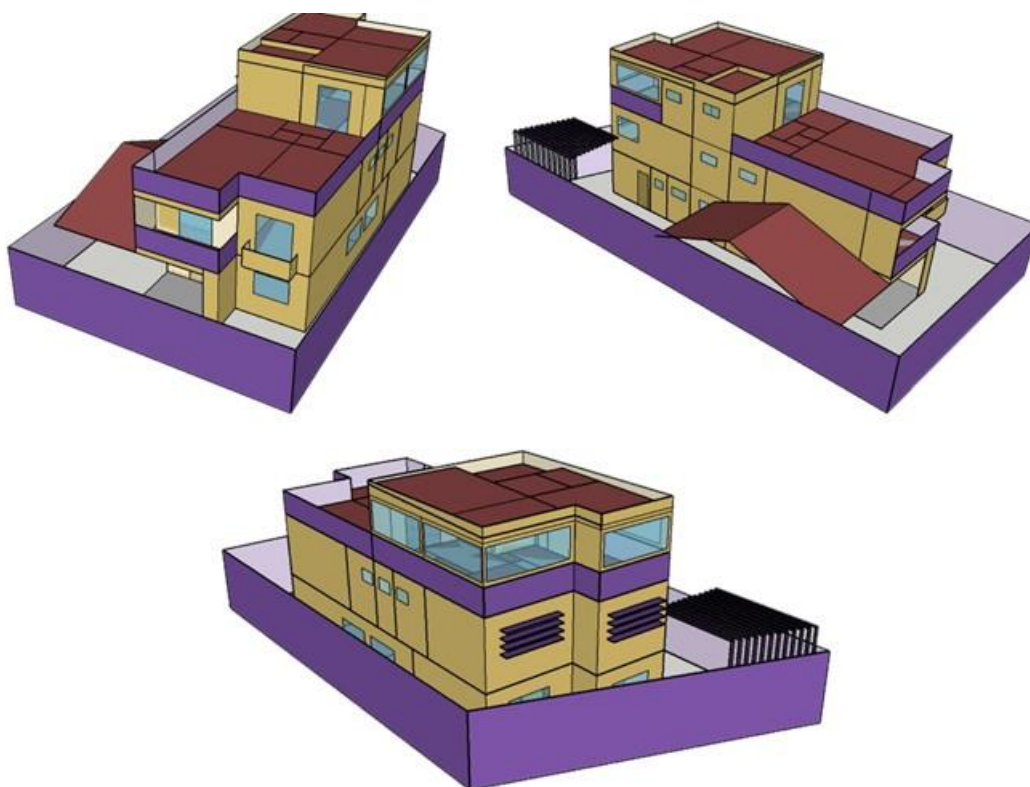


Figura 3.19 – Perspectivas da edificação com o fechamento lateral em vidro

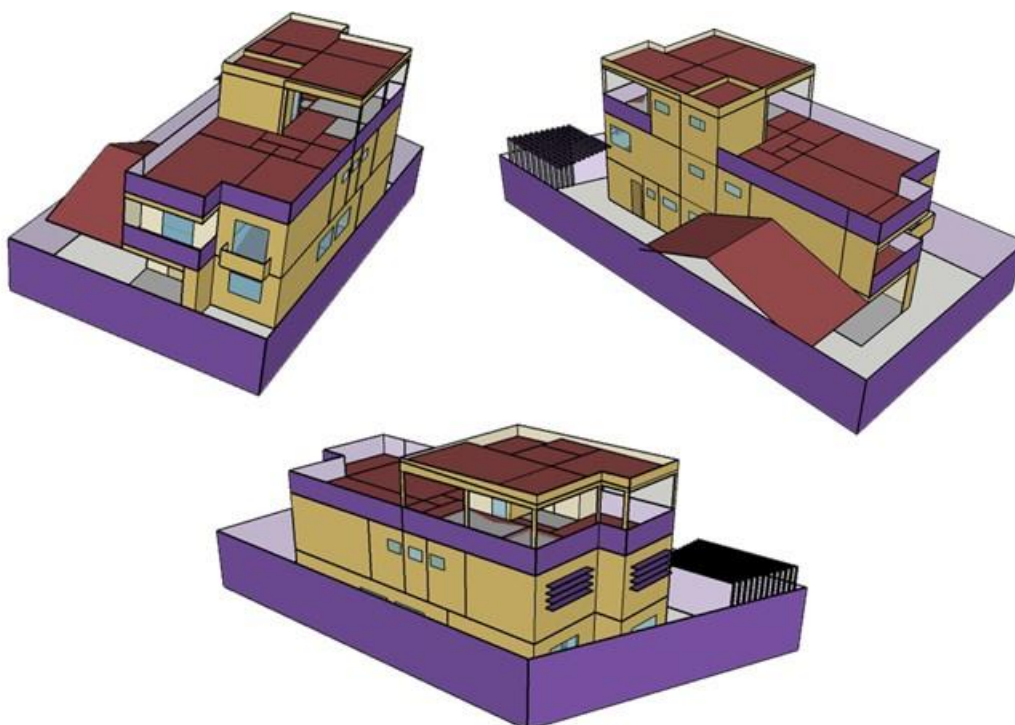


Figura 3.20 – Perspectivas da edificação sem o fechamento lateral em vidro

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os dados levantados na simulação computacional e a avaliação do desempenho térmico da edificação. Além disso, é apresentada a reforma proposta para a edificação, visando sua adequação às estratégias propostas que se mostram eficientes.

Apresenta-se de forma gráfica a variação da temperatura externa e das temperaturas dos ambientes internos das zonas térmicas ao longo do dia típico de projeto, em três casos diferentes (original, modificações com vidro, modificações sem vidro). Foram consideradas três zonas térmicas de ambientes de permanência prolongada: o quarto 1, o quarto 2 e a sala (Figura 3.7).

4.1 Casos analisados

Os casos que são analisados são caracterizados por:

- Caso 1: Edificação original;
- Caso 2: Edificação considerando a inclusão das estratégias que foram apresentadas, e do o fechamento lateral em vidro;
- Caso 3: Edificação considerando a inclusão das estratégias que foram apresentadas, sem o fechamento lateral em vidro.

A absorvância à radiação solar foi avaliada variando-se duas alternativas de cor: cor amarela $\alpha=0,3$ no caso da edificação original, e a cor branca $\alpha=0,2$ nos casos da edificação com as modificações propostas.

Nas tabelas 4.1 e 4.2 são apresentados os valores máximos e mínimos da temperatura externa e dos ambientes internos, referentes ao dia típico de verão e de inverno, respectivamente, considerando os dados climáticos da cidade de Vitória/ES, devido à ausência de dados climáticos da cidade de Guarapari/ES. Os níveis de desempenho são classificados como M (mínimo), I (intermediário), S (superior) e NA (não atende), conforme estabelecido pela norma NBR15.575 (ABNT, 2013) e mostrado nas tabelas 2.1 e 2.2.

Tabela 4.1 – Temperaturas mínima do meio externo e ambientes internos no dia típico de inverno

		Inverno				
			1 ren/h		5 ren/h	
Caso analisado	Zona térmica	Te,min	Ti,min	Nível de desempenho	Ti,min	Nível de desempenho
Caso 1	Quarto 1	8,8	12,3	M	11,2	NA
	Quarto 2	8,8	12,4	M	11,3	NA
	Sala	8,8	14,3	I	12,3	M
Caso 2	Quarto 1	8,8	12,5	M	11,2	NA
	Quarto 2	8,8	12,7	M	11,3	NA
	Sala	8,8	14,4	I	12,3	M
Caso 3	Quarto 1	8,8	12,7	M	11,2	NA
	Quarto 2	8,8	12,8	M	11,4	NA
	Sala	8,8	14,4	I	12,3	M

		Verão				
			1 ren/h		5 ren/h	
Caso analisado	Zona térmica	Te,max	Ti,max	Nível de desempenho	Ti,max	Nível de desempenho
Caso 1	Quarto 1	34,1	34,5	NA	34,0	M
	Quarto 2	34,1	34,7	NA	34,0	M
	Sala	34,1	29,5	S	31,0	I
Caso 2	Quarto 1	34,1	33,1	M	33,0	M
	Quarto 2	34,1	32,4	M	32,5	M
	Sala	34,1	29,1	S	30,8	I
Caso 3	Quarto 1	34,1	32,1	I	32,4	M
	Quarto 2	34,1	31,3	I	31,8	I
	Sala	34,1	29,1	S	30,8	M

De acordo com a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), o ambiente que não atender aos critérios estabelecidos para o verão deve ser simulado novamente considerando uma taxa de ventilação de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5 ren/h). Como no caso 1, nos quartos 1 e 2 o critério não foi atendido com 1 ren/h, foi simulado novamente com 5 ren/h. Observa-se que nos casos 2 e 3 os critérios de desempenho foram atendidos em todos os ambientes avaliados com a taxa de ventilação correspondente a 1 ren/h, tanto no inverno quanto no verão. Já com a taxa de ventilação correspondente a 5 ren/h no inverno, os quartos 1 e 2 não atenderam a condição de desempenho em nenhum dos casos estudados (Caso 1, Caso 2 e Caso 3).

Nas Figuras 4.1 a 4.3 é apresentada a evolução temporal das temperaturas externa e internas das zonas térmicas quarto 1, quarto 2 e sala, nas condições

climáticas do dia típico de verão, considerando a taxa de ventilação correspondente a 1 ren/h.

Figura 4.1 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente quarto 1 no dia típico de verão, com 1 ren/h

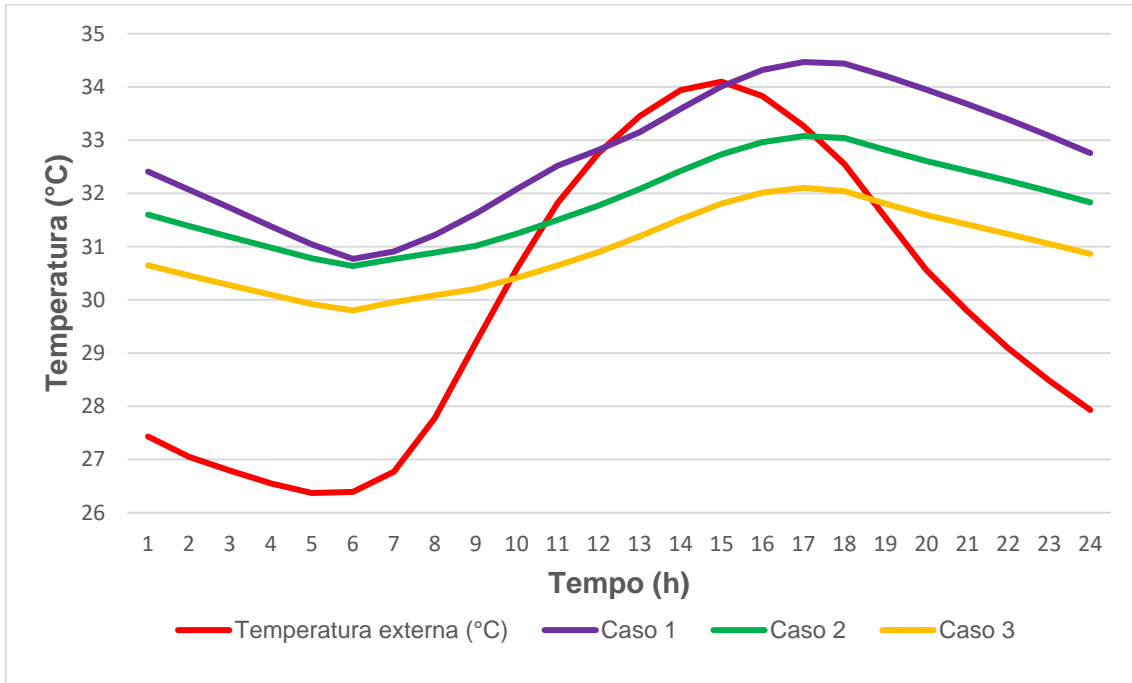


Figura 4.2 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente quarto 2 no dia típico de verão, com 1 ren/h

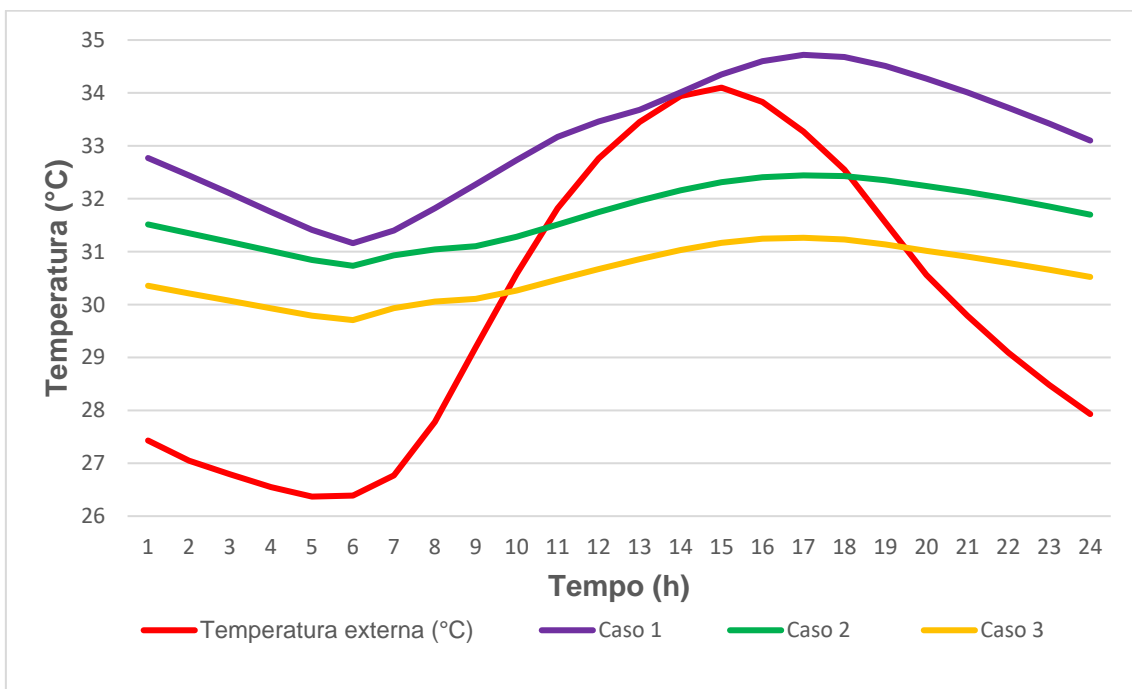
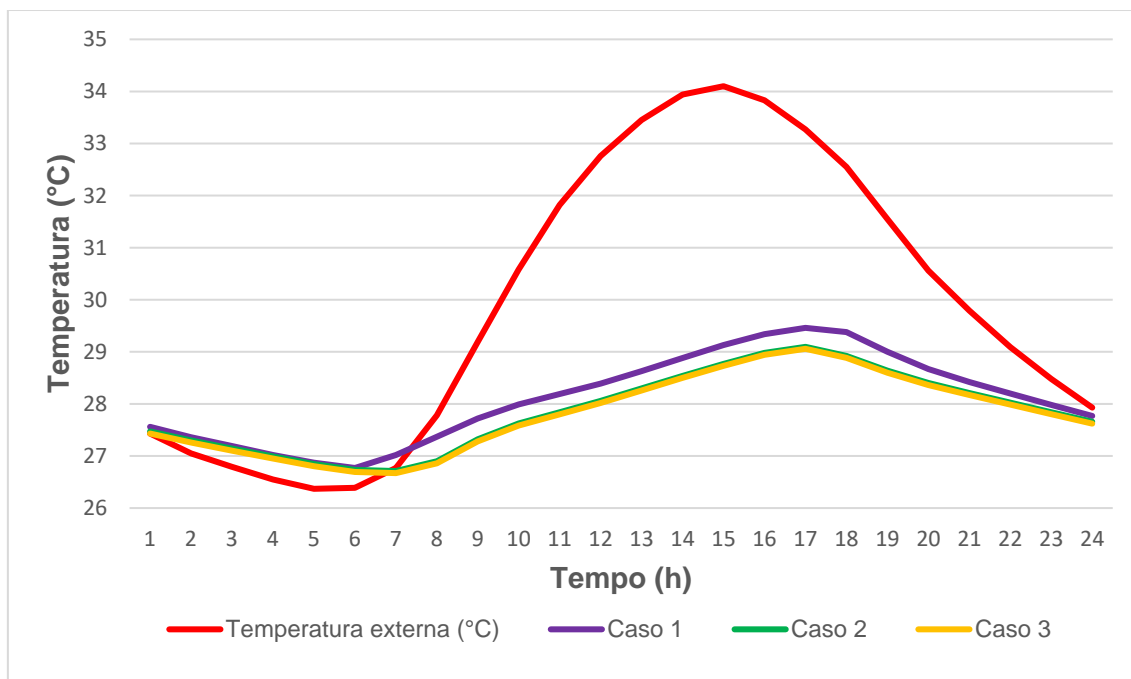


Figura 4.3 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente sala no dia típico de verão, com 1 ren/h



Comparando-se a distribuição de temperatura no dia típico de verão entre o Caso 1 e o Caso 3, pode-se observar que com uma taxa de renovação do ar de 1 ren/h houve uma queda de temperatura que chegou até 2,4°C no quarto 1 e até 3,5°C no quarto 2.

Nas figuras 4.4 a 4.6 é apresentada a evolução temporal das temperaturas externa e internas das zonas térmicas quarto 1, quarto 2 e sala, nas condições climáticas do dia típico de inverno, considerando a taxa de ventilação correspondente a 1 ren/h.

Figura 4.4 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente quarto 1 no dia típico de inverno, com 1 ren/h

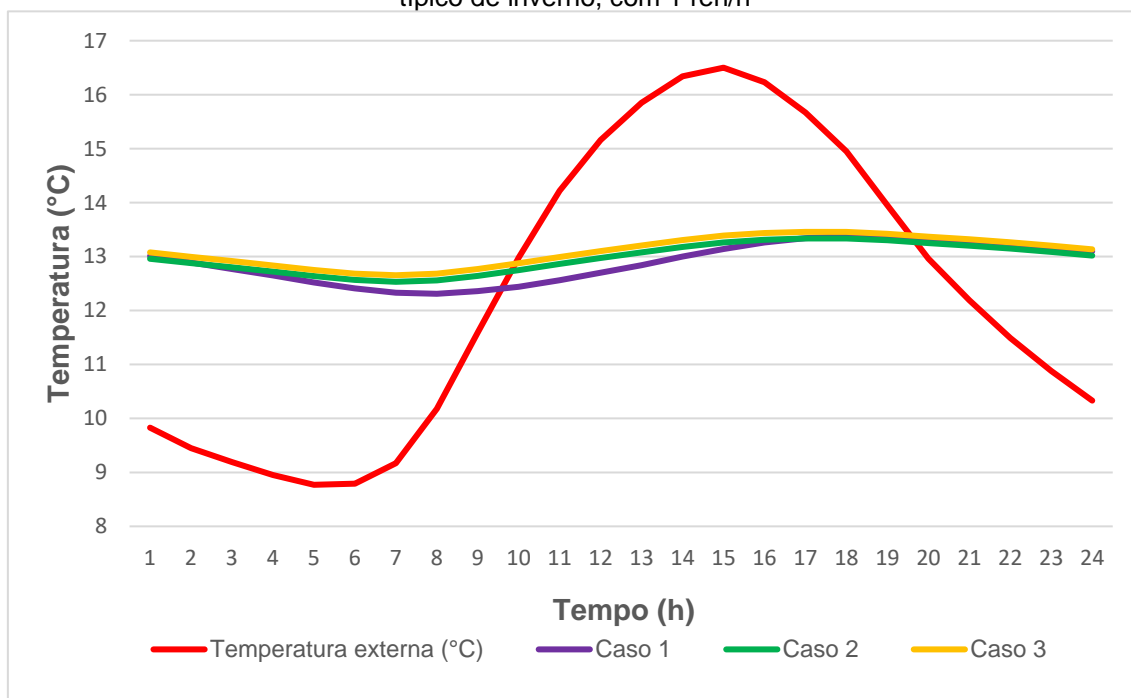


Figura 4.5 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente quarto 2 no dia típico de inverno, com 1 ren/h

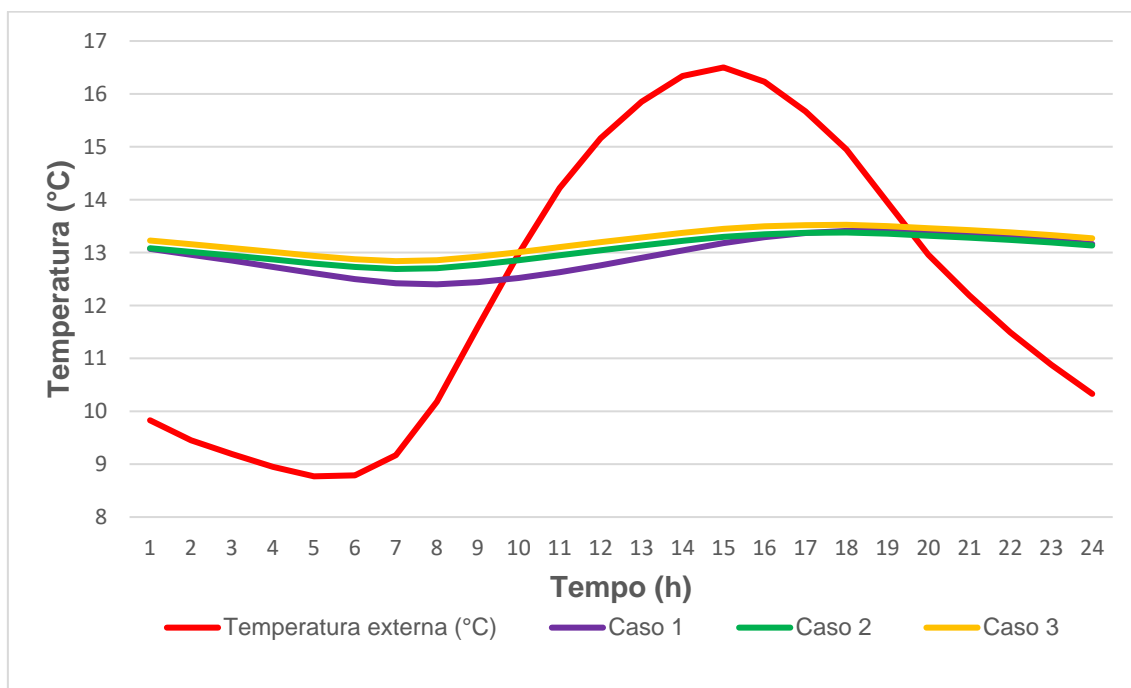
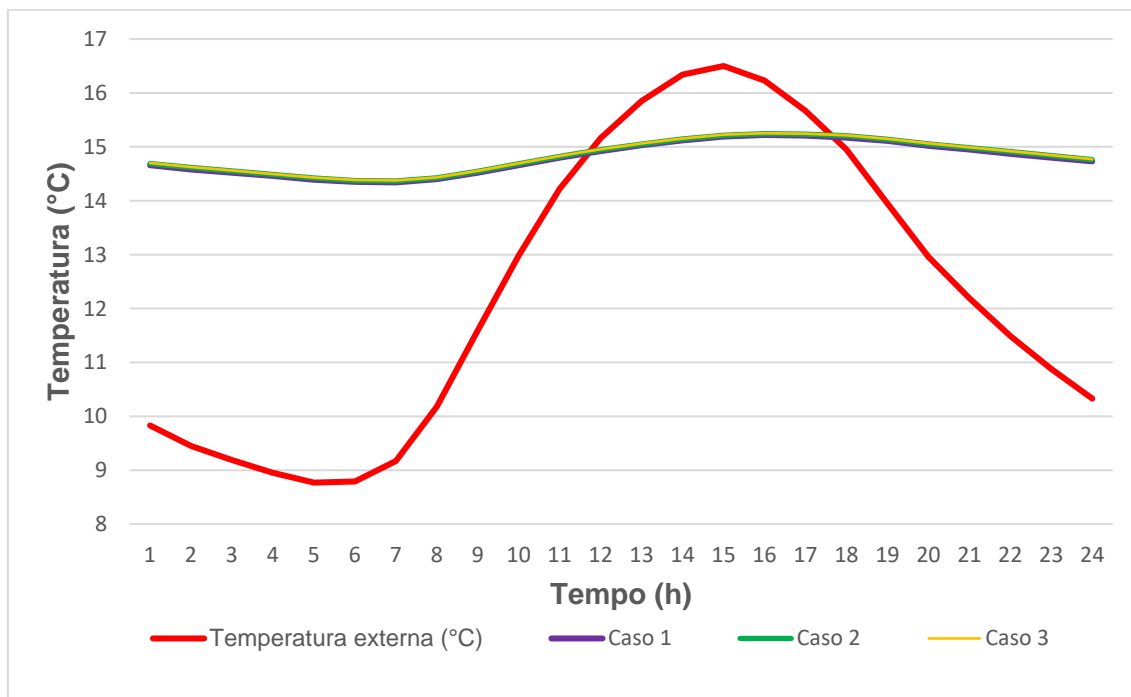


Figura 4.6 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente sala no dia típico de inverno, com 1 ren/h



Nota-se pelos resultados apresentados que tanto no verão quanto no inverno, o caso 3 apresentou as melhores condições térmicas nos três ambientes internos avaliados, com temperaturas mais amenas no Verão e temperaturas mais altas no Inverno.

No período de inverno houve uma pequena oscilação das temperaturas dos ambientes internos. Analisando as Figuras 4.4 e 4.5, percebe-se que o Caso 2 e o Caso 3 apresentam um desempenho térmico similar ao longo do dia e, comparando-se ambos os casos com a edificação original (Caso 1), observa-se que para taxa de renovação de ar de 1 ren/h as temperaturas internas nos quartos 1 e 2 aumentaram até 0,5 °C, o que representa uma pequena melhora no desempenho térmico destes recintos.

Nas figuras 4.7 a 4.9 é apresentada a evolução temporal das temperaturas externa e internas das zonas térmicas quarto 1, quarto 2 e sala, nas condições climáticas do dia típico de verão, considerando a taxa de ventilação correspondente a 5 ren/h.

Figura 4.7 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente quarto 1 no dia típico de verão com 5 ren/h

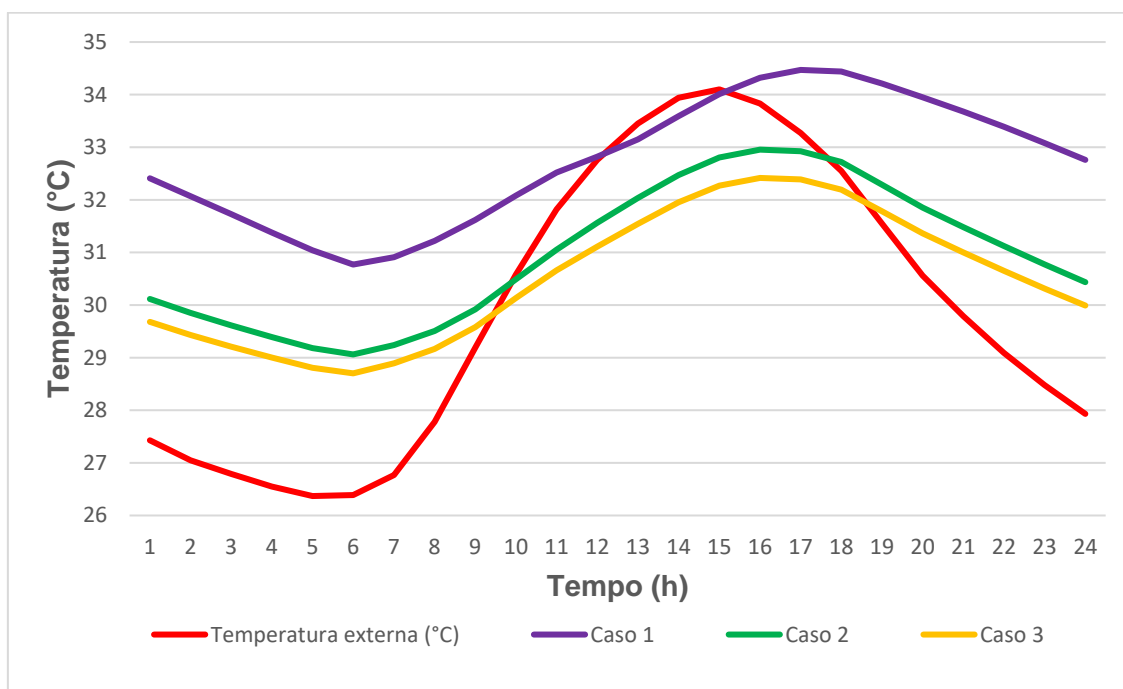
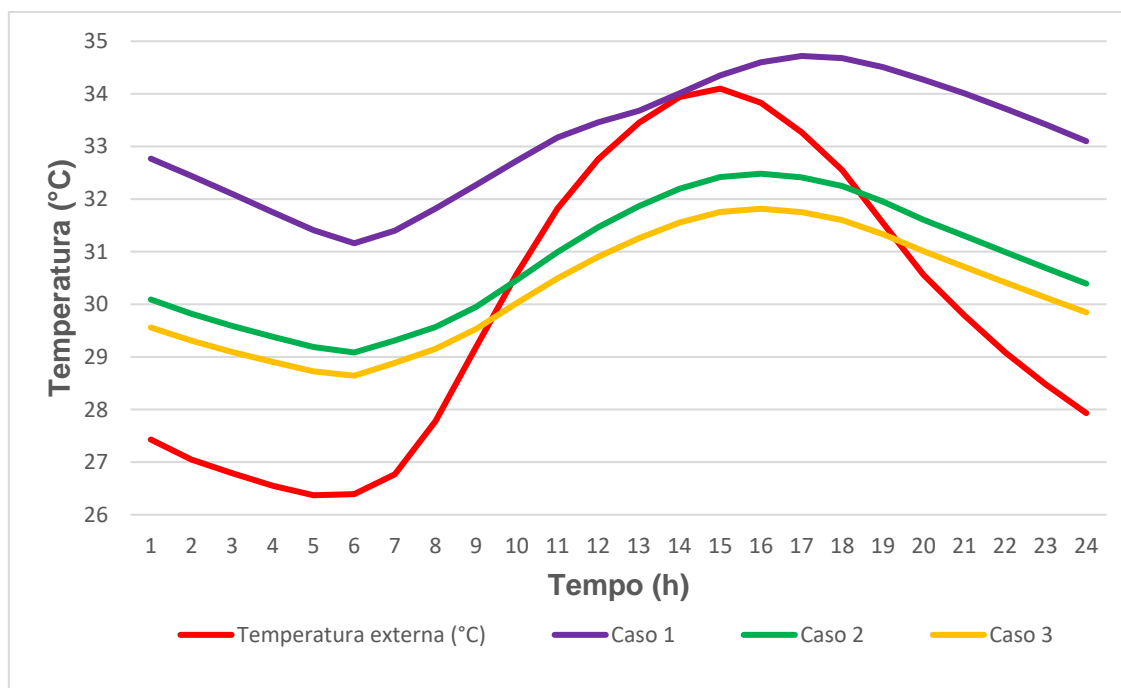


Figura 4.8 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente quarto 2 no dia típico de verão com 5 ren/h

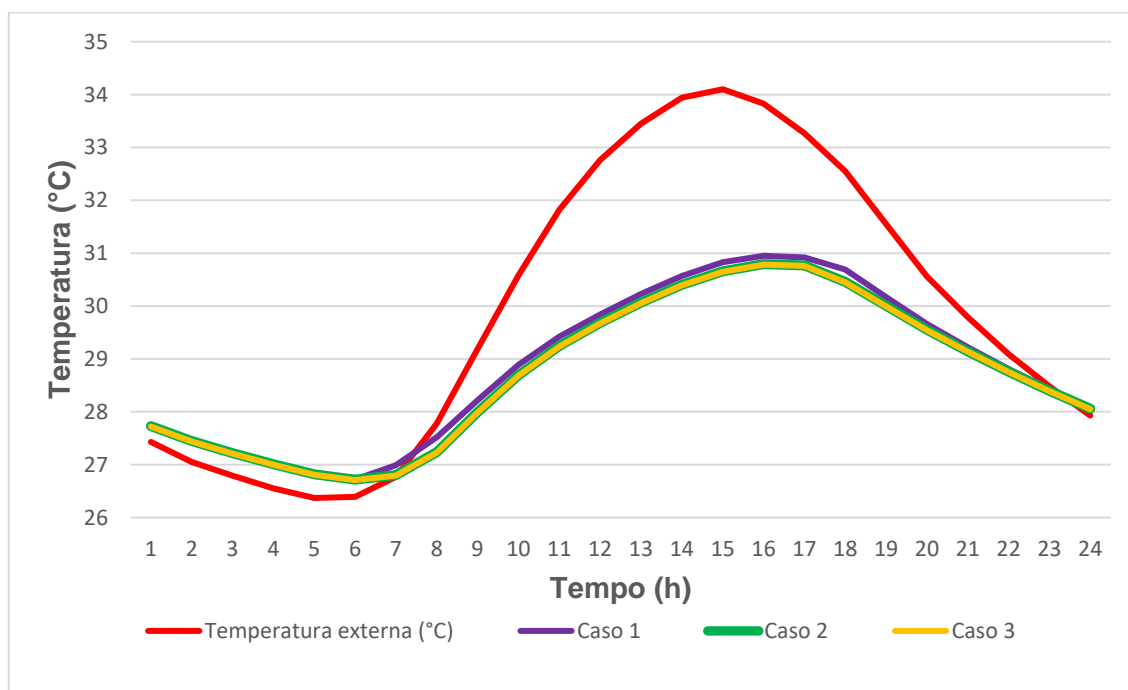


Nas Figuras 4.1, 4.2, 4.7 e 4.8, observa-se que a inclusão do fechamento lateral em vidro (Caso 2) implica em uma queda significativa de temperatura em relação à edificação original. Apesar disso, a desconsideração do fechamento lateral em vidro (caso 3) apresentou um desempenho térmico um pouco melhor. Houve,

portanto, um maior ganho térmico ocasionado pelo fechamento lateral em vidro na cobertura, isso ocorre porque a radiação direta que atravessa o vidro gera o efeito estufa no ambiente, uma vez que, o vidro se torna opaco à radiação refletida pelas superfícies do ambiente e com desse modo a temperatura interna aumenta.

Além disso, comparando-se a distribuição de temperatura no dia típico de verão entre o Caso 1 e o Caso 3, pode-se observar que com uma taxa de renovação do ar de 5 ren/h houve uma queda de temperatura que chegou até 2,8°C no quarto 1 e até 3,30°C no quarto 2.

Figura 4.9 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente sala no dia típico de verão com 5 ren/h



Nas figuras 4.10 a 4.12 apresenta-se a evolução temporal das temperaturas externa e internas das zonas térmicas quarto 1, quarto 2 e sala, nas condições climáticas do dia típico de inverno, considerando a taxa de ventilação correspondente a 5 ren/h.

Figura 4.10 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente quarto 1 no dia típico de inverno com 5 ren/h

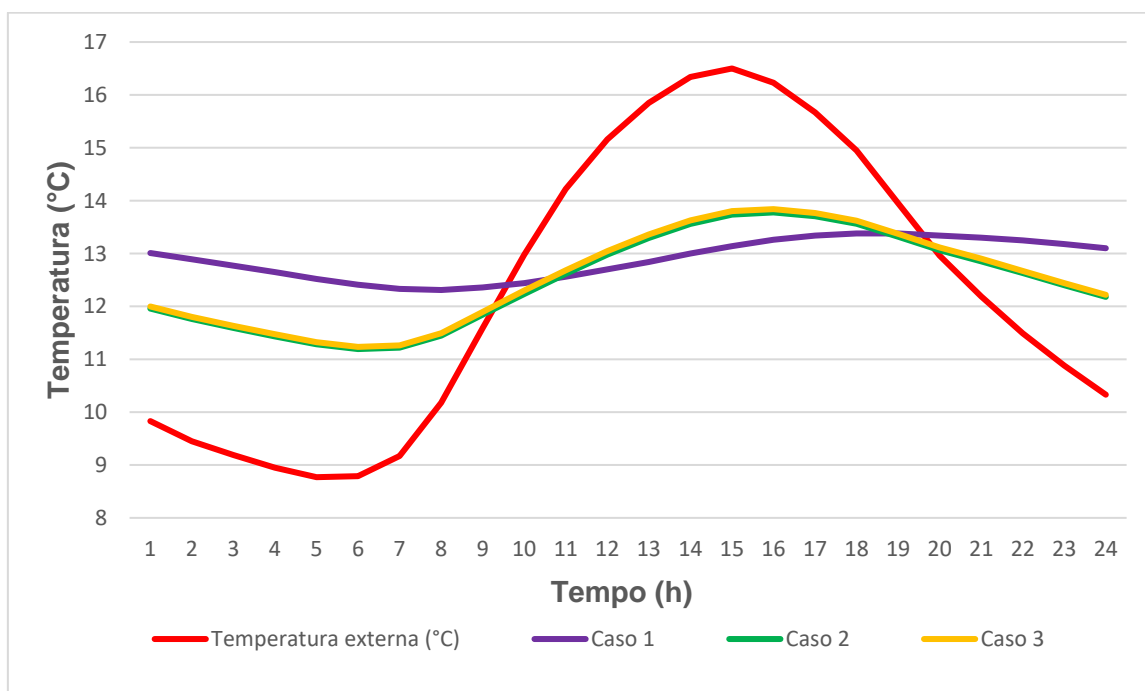


Figura 4.11 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente quarto 2 no dia típico de inverno com 5 ren/h

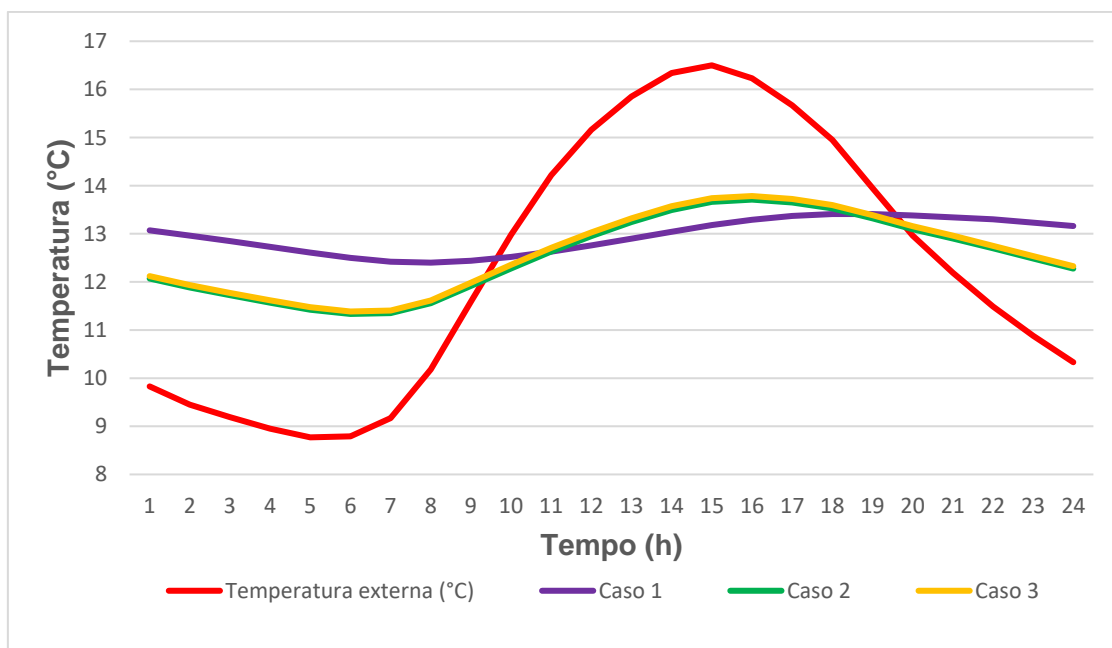
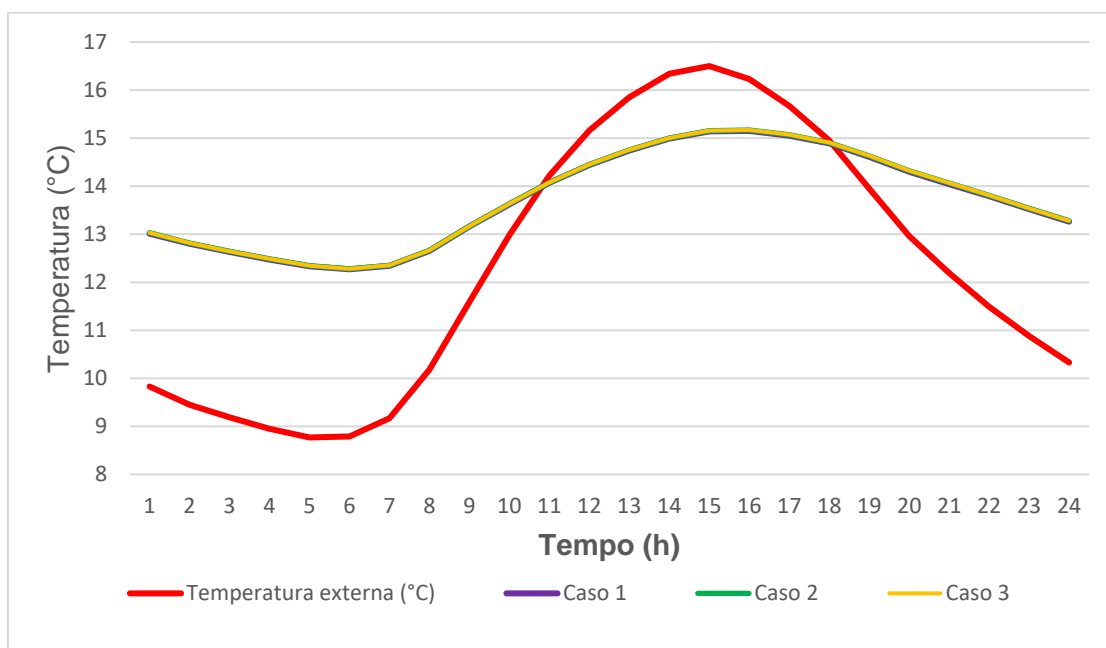


Figura 4.12 – Evolução temporal da temperatura interna e externa do ambiente sala no dia típico de inverno com 5 ren/h



Analisando os resultados mostrados nas Figuras 4.10 e 4.11, observa-se que as temperaturas internas nos quartos 1 e 2, nos casos 2 e 3, a uma taxa de 5 ren/h, foram maiores que no caso 1 apenas em um intervalo de tempo ao longo do dia. Isso ocorre devido a maior renovação de ar nos ambientes, que ficam sujeitos a uma maior oscilação térmica provocada pela maior troca de calor entre o ambiente interno e o ambiente externo.

Analisando as Figuras 4.3, 4.6, 4.9, 4.12, percebe-se que a sala não apresenta mudanças na temperatura interna muito significativas, devido à orientação das paredes externas, que estão voltadas para Leste e Sudeste, dessa forma o ambiente recebe radiações solares menos intensas no período da manhã, o que não é uma situação tão crítica comparada à orientação das fachadas dos quartos 1 e 2.

De forma geral, observa-se que a implantação das estratégias bioclimáticas propostas (alteração da cor do fechamento, aumento das aberturas do quarto 1 e a inclusão dos *brises*, cobertura metálica e vegetação no entorno) mostra-se como um método vantajoso em termos de ganhos térmicos, principalmente no período do verão.

4.2 Proposição final de intervenções

No presente trabalho é feito a proposição de uma série de intervenções em uma edificação já existente, avaliando a influência destas no seu desempenho térmico. Visando modernizar a edificação e harmonizar as estratégias incluídas com o visual estético e plástico da edificação, é sugerido uma intervenção na fachada. Pode-se observar nas imagens mostradas nas Figuras 4.13 a 4.17, o modelo produzido com as características da edificação original, e o modelo produzido com o resultado final de todas as intervenções propostas ao longo do trabalho.



Figura 4.13 – Vista frontal original e vista frontal proposta



Figura 4.14 – Vista posterior original e vista posterior proposta



Figura 4.15 – Vista lateral direita original e vista lateral direita proposta



Figura 4.16 – Vista lateral esquerda original e vista lateral esquerda proposta

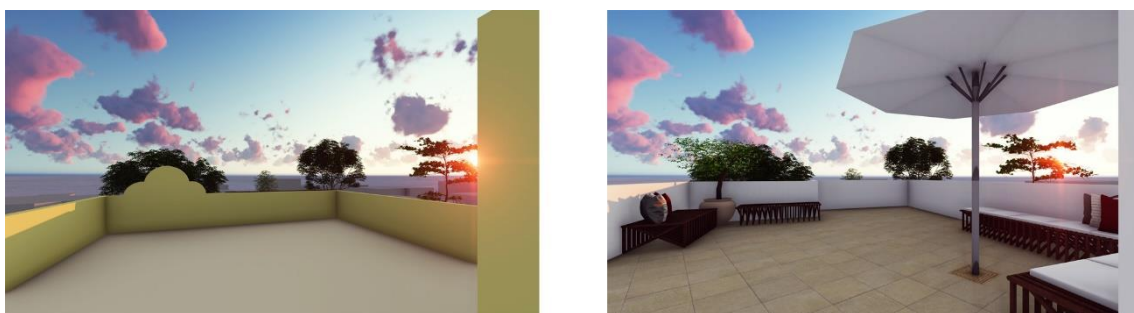


Figura 4.17 – Vista terraço original e vista terraço proposta

Considerando a inclusão da cobertura com telha sanduíche na parte posterior do terceiro pavimento da edificação e visando um melhor aproveitamento do espaço, propõe-se a criação de um espaço *gourmet* na parte que abrange a cobertura com telha sanduíche, e mobiliários de permanência na parte descoberta do pavimento, como se pode observar nas imagens mostradas nas Figuras 4.18, 4.19 e 4.20.



Figura 4.18 – Vista 1 do espaço *gourmet*



Figura 4.19 – Vista 2 do espaço *gourmet*



Figura 4.20 – Terraço

Nas figuras 4.21 e 4.22 é apresentado o resultado da inclusão da vegetação no entorno da edificação com a proposição de um jardim.



Figura 4.21 – Vista 1 Jardim



Figura 4.22 – Vista 2 Jardim

Nas figuras 4.23, 4.24 e 4.25 são apresentadas imagens com o resultado final das proposições na fachada, na planta de cobertura, na planta do terceiro pavimento e nos cortes da edificação.



Figura 4.23 – Resultado final



Figura 4.24 – Planta de cobertura e planta do terceiro pavimento após a proposição final de intervenções

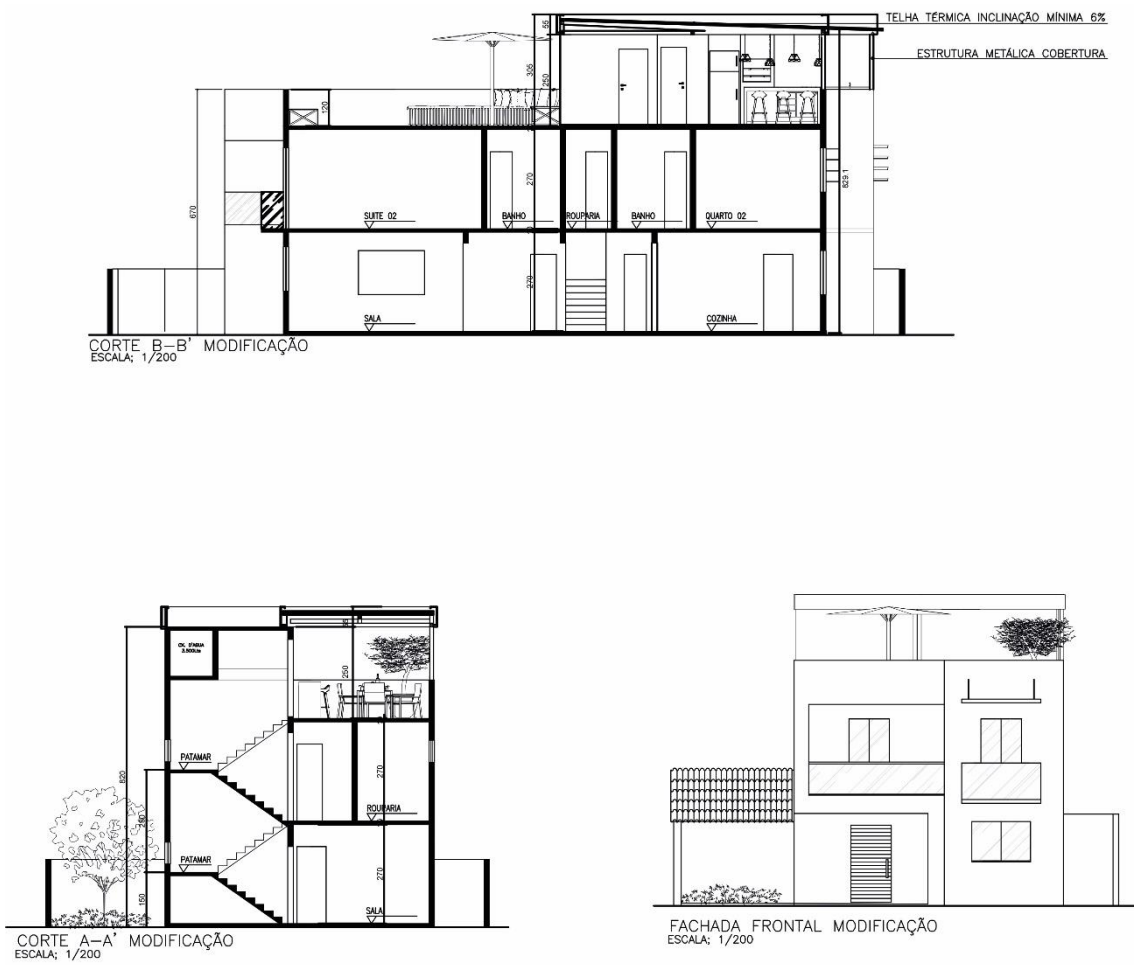


Figura 4.25 – Cortes e fachada após a proposição final de intervenções

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No referencial teórico do presente trabalho são apresentados diferentes tipos de estratégias bioclimáticas passivas que são utilizadas visando uma maior harmonização entre uma edificação e o local no qual ela está inserida. Essa revisão resulta em um estudo de quais estratégias podem ser utilizadas em uma edificação existente na intenção de melhorar o seu desempenho térmico.

A metodologia de avaliação é proposta com base em uma pesquisa de trabalhos similares existentes, comprovando que os procedimentos apresentados podem ser aplicados em qualquer tipo de edificação e em qualquer região climática.

São apresentados os resultados da simulação computacional de forma gráfica, e de maneira que permita sua análise visual clara e objetiva. Analisando os resultados obtidos percebe-se que o uso de estratégias bioclimáticas passivas pode melhorar o desempenho térmico, e a eficiência energética de uma edificação. É importante reforçar a importância de trabalhos nessa temática, com o intuito de melhorar a concepção de espaços de qualidade e que atendam às necessidades de conforto do usuário.

O espaço interno de uma edificação deve ser funcional, confortável e de qualidade, permitindo que o usuário realize plenamente suas atividades cotidianas. É desejado também que essa situação seja alcançada com o menor gasto energético possível para o seu condicionamento. Para isso é de extrema importância que as construções sejam projetadas visando um melhor aproveitamento/reaproveitamento dos recursos naturais como a iluminação, a ventilação natural, a vegetação, e o aquecimento solar.

O presente trabalho reforça a importância de considerar as condições climáticas do local no qual a edificação está inserida, e como é possível aproveitar os recursos naturais de maneira eficiente na concepção de ambientes internos de qualidade e confortáveis. Como resultado final, além de ambientes com melhores desempenho térmico, é apresentada uma proposta de intervenção da fachada que teve como principal diretriz a modernização da edificação.

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M. **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta. 2013.

BAGNATI, M.M. **Zoneamento brasileiro e arquitetura brasileira: qualidade do ambiente construído**. 2013, 133 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Porto Alegre, 2013.

BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. M. **Introdução à ventilação natural**. Maceió, EDUFAL, 2005.

BROWN, G. Z.; DEKAY, M. **Sol, vento & luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. 2. Ed. Tradução: Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. São Paulo: Editora: Bookman, 2004. 372 p.

BUENO, C. L. **Estudo da Atenuação da Radiação Solar Incidente por Diferentes Espécies Arbóreas**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 1998. (Dissertação de Mestrado).

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro, Editora Revan, 2003, 288 p.

COSTA, E.C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgar Blücher, 1982.

CRAWLEY, D. B. et al. EnergyPlus: Energy Simulation Program. ASHRAE journal. Atlanta: ASHRAE, 2000, v.42, p. 49-56.

PROCEL edifica. 2013. ELETROBRAS/INMETRO e CB3E/UFSC: **Introdução ao programa Brasileiro de etiquetagem de edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Balanco energético nacional 2016**. Rio de Janeiro, 2016.

FIGUEIREDO, C.M. **Ventilação natural para conforto térmico em edifícios de escritórios – avaliação com modelos adaptativos**. NUTAU/USP – Núcleo de Pesquisa em Tecnologias de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2008.

FROTA, A. B.; SCHIFFER S.R. **Manual de conforto térmico**. 8 ed. São Paulo, Editora: Studio Novel. 2007.

FROTA, A. B. **Geometria da insolação**. São Paulo: Geros, 2004.

FURTADO, A. E. **Simulação e análise da utilização da vegetação como anteparo às radiações solares em uma edificação**. 1994. 144p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, Rio de Janeiro, 1994.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em *Light Steel Frame***. 2007. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

GOMES, A. P.; SOUZA, H. A.; MARTINS, G. C. A.; SPILARI, D. V. Utilização de paredes trombe em edificações residenciais na cidade de Ouro Preto – MG. In: ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal, **Anais**. Natal, 2009.

GONÇALVES, P. **Ventilação natural**. 2012. Disponível em: <<http://coletivourbane.blogspot.com/2012/04/ventilacao-natural.html>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

GONÇALVEZ, H; GRAÇA, J.M. **Conceitos bioclimáticos para edifícios em Portugal**, DGGE/IP-3E, 2009.

GUTIERREZ, G. C. R.; LABAKI, L. C. Considerações sobre o brise-soleil da arquitetura moderna brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO

LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, **Anais** ...Maceió, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MASCARÓ L. E. R. **Luz, Clima e Arquitetura**. 3ª ed. São Paulo: Nobel, 1983. 189 p.

OLGYAY, V. **Design with climate – bioclimatic approach to architectural regionalismo**, 4 ed. Princeton, New Jersey, USA, 1973.

PAPST, A. L. **Uso da inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 1999.165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina apud GOMES, A. P.; SOUZA, H. A.; MARTINS, G. C. A.; SPILARI, D. V. Utilização de paredes trombe em edificações residenciais na cidade de Ouro Preto – MG. In: ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal, **Anais..** Natal, 2009.

PIVETTA, J. **Influência de elementos paisagísticos no desempenho térmico de edificação térrea**. 2010. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

RIBEIRO, L. P. **Conforto térmico e a prática do projeto de edificações: recomendações para Ribeirão Preto**. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

RIGITANO, R. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 2004.

ROSADO, R.; PIZZUTTI, J. L. **A influência das cores no conforto térmico-lumínico e na redução do consumo de energia nas edificações.** ENCAC, 1997.

SILVA, J. S. D. **A Eficiência do *brise-soleil* em edifícios públicos de escritórios: estudo de caso do plano piloto de Brasília.** 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SOUSA, K. P. Requalificação da edificação – Retrofit. 2014. **Revista Especialize On-line IPOF - Goiânia.** 8 ed nº009 V. 01 Dezembro/2014

TEIXEIRA, A.M.B. **Impacto da norma de conforto europeia EM 15251 na certificação energética em edifícios de serviços.** Porto, 2009. Relatório do Projeto Final/ Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica/ MIEM da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP. Porto, 2009.

VIERIA, C. C. **Conforto térmico e iluminação natural no edifício administrativo da Escola de Engenharia de São Carlos/USP – O BLOCO E1.** 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

VITTORINO, Fúlvio. **Desempenho térmico e lumínico de edifícios habitacionais:** discussão da proposta de normalização para habitações de até cinco pavimentos. In: SEMINÁRIO HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005 São Paulo. **Anais** do Seminário Habitação: desempenho e inovação tecnológica. São Paulo: IPT, 2005. P 7-16.

APÊNDICE A

DIMENSIONAMENTO DOS *BRISES*

Para o dimensionamento dos *brises*, inicialmente é realizado um estudo do clima local, a partir do qual se determinam os períodos de sombra necessários, em seguida são estabelecidos o tipo e a posição do *brise*, para realizar o dimensionamento com o auxílio de máscaras de sombra. Para tal, é utilizada a carta solar de latitude 20° Sul, o valor mais próximo da latitude da cidade de Guarapari (Latitude 20°40' Sul).

Os quartos 1 e 2 se encontram na fachada que está localizada a 58° para a esquerda do Norte (Figura A.1). Ao se posicionar a orientação da fachada na carta solar são determinados os horários de maior incidência solar ao longo do dia.

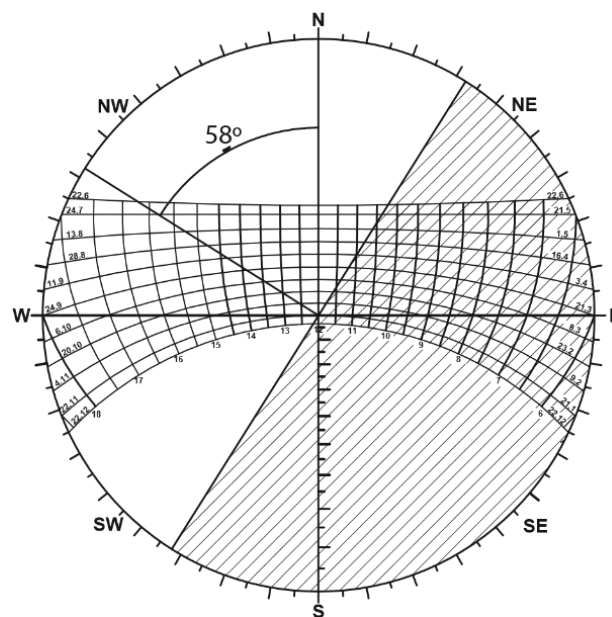


Figura A.1 – Carta solar de latitude 20°

Analisando a carta solar é possível perceber que o período de maior incidência solar se dá durante o solstício de inverno, que recebe radiação de aproximadamente 10h15m até as 17h30, ou seja, mais de 7 horas por dia. Porém, a incidência solar ocorre de maneira mais intensa durante o solstício de verão, que recebe radiação de, aproximadamente, 12h até às 18h30, como pode se observar na Figura A.2. Dessa forma, é aconselhado o uso de dispositivo

horizontal de proteção solar visando minimizar a incidência solar direta durante o solstício de verão, propiciando um ambiente mais confortável.

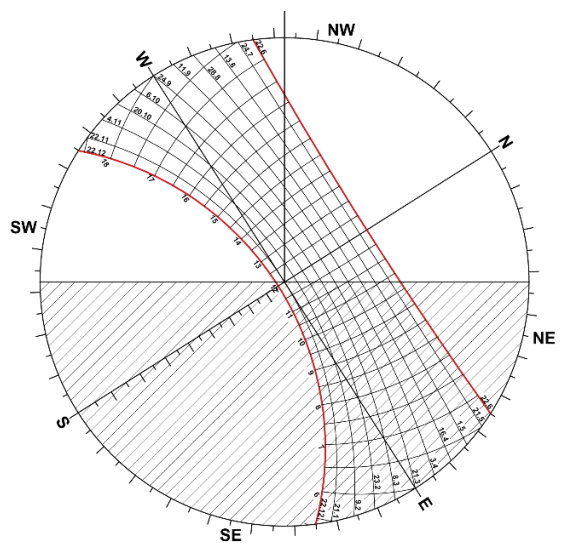


Figura A.2 – Carta solar com períodos de incidência solar no solstício de verão e de inverno

Diante destas observações, é considerado o período do solstício de verão para o dimensionamento dos *brises*. Além disso, é delimitado o período de 13h às 16h, por ser um horário no qual a radiação é mais intensa. Dessa forma, é determinada uma área de sombreamento para auxiliar no dimensionamento dos *brises*, como é mostrado na figura A.3.

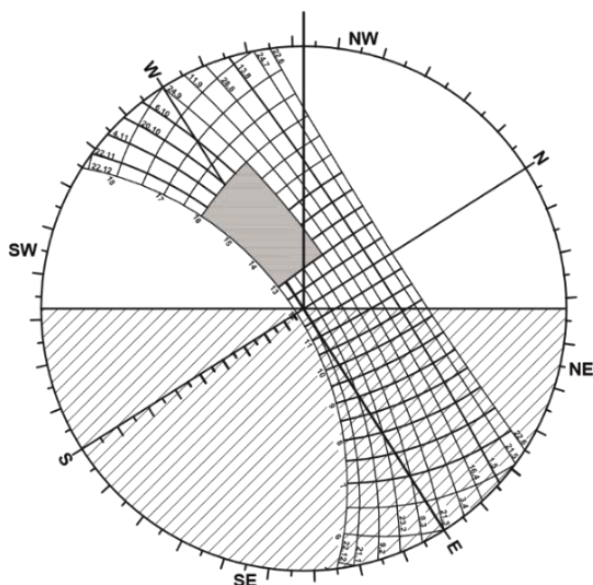


Figura A.3 – Carta solar com área a ser sombreada

Sobrepondo a carta solar à máscara auxiliar, é determinado os ângulos α , β e γ para determinar o tamanho dos *brises* verticais e horizontais necessário para o sombreamento da área. São encontrados os seguintes ângulos: $\alpha = 60^\circ$, $\gamma_d = 80^\circ$, e $\gamma_e = 40^\circ$ (Figura A.4). Levando em consideração o tamanho do ângulo β , não é necessário dispositivos de proteção solar verticais.

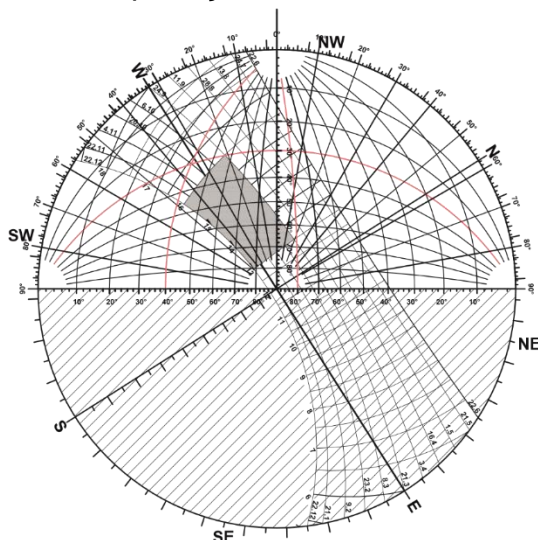


Figura A.4 – Carta solar sobreposta com máscara auxiliar.

Para dimensionar o dispositivo de proteção solar horizontal finito é utilizado os ângulos α e γ . O ângulo α é projetado no corte da abertura estabelecida visando determinar a largura do *brise* (Figura A.5). Inicialmente é encontrado o valor de 192 cm de largura (Figura A.5 (a)), porém visando proporcionar também uma estética mais agradável, são propostos 4 *brises*, com 30 cm de distância entre eles (Figura A.5 (b)) Dessa forma, é possível ter *brises* menores (com 36 cm de largura), e visualmente mais agradáveis sem prejudicar a proteção da incidência solar direta (Figura A.5 (c)).

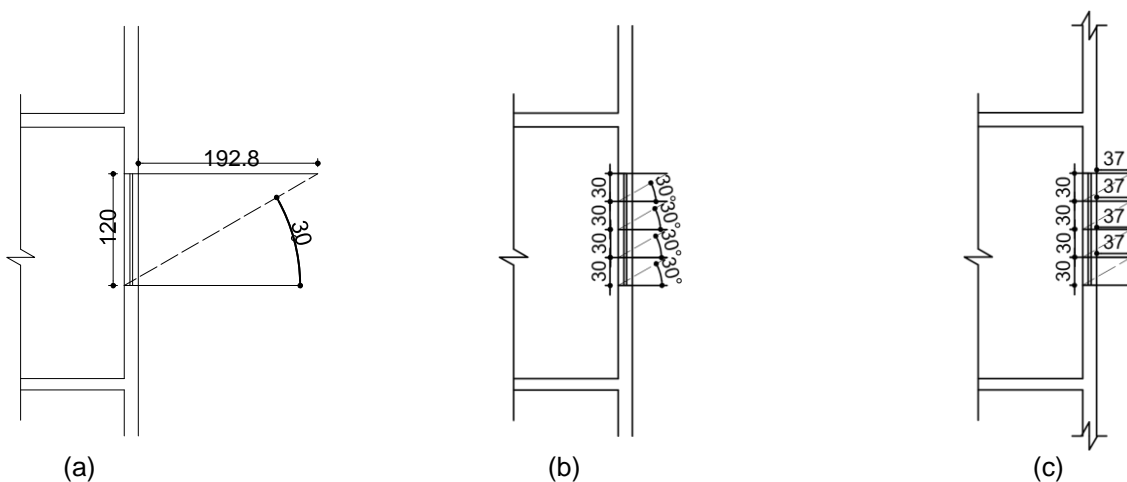


Figura A.5 – Corte dos *brises* horizontais: (a) Resultado 1, (b) Resultado 2, (c) Resultado 3

Para proposição de brises finitos, o ângulo γ é usado para limitar a extensão dos brises. Dessa forma, ele é utilizado na vista da janela a ser sombreada para determinar o comprimento necessário para garantir o sombreamento no período estabelecido. Após estudo da carta solar, são encontrados os valores dos ângulos, $\gamma_d = 80^\circ$ e $\gamma_e = 40^\circ$. A projeção do ângulo γ_d é traçada no lado esquerdo da janela, e a projeção do ângulo γ_e é traçada no lado direito da janela (Figura A.6 (a)). Inicialmente são encontrados os valores 143cm à direita, e 21cm à esquerda, porém como são propostos 4 brises verticais, o comprimento passa para 35,8cm à direita e 5,3cm à esquerda, como é mostrado na Figura A.6 (b). Visando um resultado estético mais agradável, os comprimentos são igualados, ocasionando em comprimentos iguais à esquerda e à direita da janela, de 35,8cm, num total de 251,6 cm de comprimento (Figura A.6 (c)).

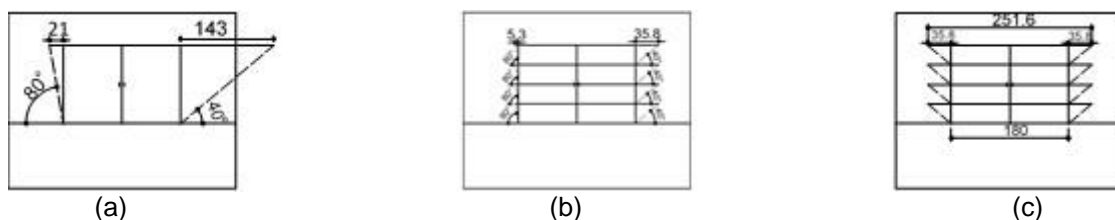


Figura A.6 – Vista dos *brises* horizontais: (a) Resultado 1, (b) Resultado 2, (c) Resultado 3

Dessa forma, são propostos 4 *brises* horizontais finitos nas janelas dos quartos 1 e 2 de 251,6 cm de comprimento, e 37 cm de largura, como é mostrado na figura A.7.

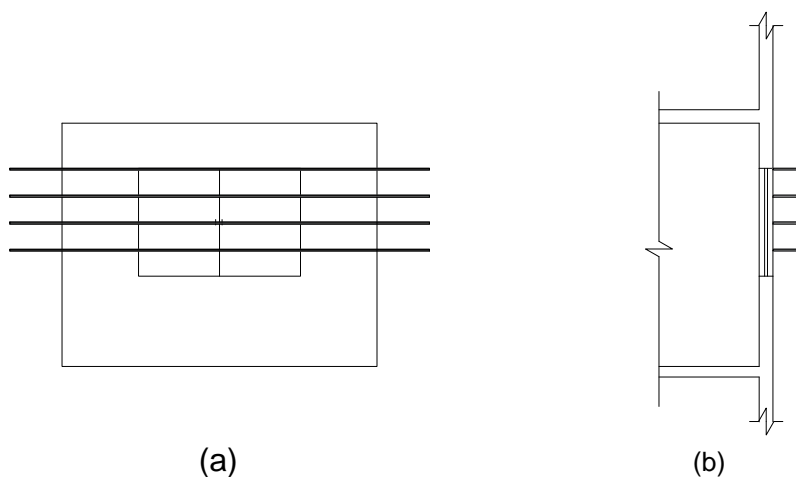
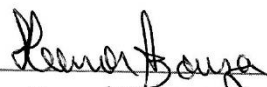


Figura A.7 – *Brise* final: (a) *Brise* em vista, (b) *Brise* em corte

Certifico que a aluna **Amanda Vitor Lopes**, autora do trabalho de conclusão de curso intitulado "**O USO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS VISANDO MELHORIAS NO DESEMPENHO TÉRMICO**", efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



Henor Artur de Souza
Orientador

Ouro Preto, 05 de Fevereiro de 2019